DAS WISSEN
DER GEGENWART
38. BAND.

HANSEN
D. Ernährung d.
Pflanzen.

Inhalt der erschienenen Bände:

Bd. 1. **Gindely, A.**, Geschichte des 30jährigen Krieges in drei Abteilungen.
I. 1618—1621: Der böhmische Aufstand und seine Bestrafung. 280 Seiten. Mit 3 Doppelvollbildern, 1 Vollbild u. 4 Porträts in Holzstich.

Bd. 2. **Klein Dr. Herm. J.**, Allgemeine Witterungskunde.
266 Seiten. Mit 6 Karten, 2 Vollbildern und 31 Abbildungen in Holzstich.

Bd. 3. **Gindely, A.**, Geschichte des 30jährigen Krieges in drei Abteilungen.
II. 1622—1632: Der niedersächsische, dänische und schwedische Krieg bis zum Tode Gustav Adolfs. 292 Seiten. Mit 10 Doppelvollbildern und 4 Porträts in Holzstich.

Bd. 4. **Taschenberg, Prof. Dr. E.**, Die Insekten nach ihrem Nutzen und Schaden.
304 Seiten. Mit 70 Abbildungen.

Bd. 5. **Gindely, A.**, Geschichte des 30jährigen Krieges in drei Abteilungen.
III. 1633—1648: Der schwedische und der schwedisch-französische Krieg bis zum westfälischen Frieden. 240 Seiten. Mit 9 Doppelvollbild. u. 3 Porträts in Holzstich.

Bd. 6. **Jung, Dr. Karl Emil**, Der Weltteil Australien.
I. Abtlg.: Der Australkontinent und seine Bewohner. 280 Seiten. Mit 14 Vollbildern, 24 in den Text gedruckten Abbildungen und 2 Karten in Holzstich.

Bd. 7. **Taschenberg, Dr. Otto**, Die Verwandlungen der Tiere.
272 Seiten. Mit 88 Abbildungen.

Bd. 8. **Jung, Dr. Karl Emil**, Der Weltteil Australien. II. Abtlg.: I. Die Kolonien des Australkontinents u. Tasmanien. II. Melanesien (I. Teil). 312 Seiten. Mit 19 Vollbildern, 29 in den Text gedruckten Abbildungen und 6 Karten in Holzstich.

Bd. 9. **Klaar, Alfred**, Geschichte des modernen Dramas in Umrissen.
320 Seiten. Mit 9 Porträts in Holzstich.

Bd. 10. **Becker, Dr. Karl Emil**, Die Sonne und die Planeten. 308 S. Mit 68 Abbildungen.

Bd. 11. **Jung, Dr. E.**, Der Weltteil Australien.
III. Abtlg.: I. Melanesien (II. Teil). II. Polynesien (I. Teil). 304 Seiten. Mit 27 Vollbildern und 31 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 12. **Gerland, Dr. E.**, Licht und Wärme.
320 Seiten. Mit 4 Porträts und 126 Figuren in Holzstich.

Bd. 13. **Jung, Dr. Karl Emil**, Der Weltteil Australien.
IV. Abtlg.: I. Polynesien (II. Teil). II. Neuseeland. III. Mikronesien.
276 Seiten. Mit 18 Vollbildern und 35 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 14. **Der Weltteil Afrika I. Hartmann, Prof. Dr. R.**, I. Abyssinien und die übrigen Gebiete der Ostküste Afrikas.
312 Seiten. Mit 18 Vollbildern und 63 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 15. **Jung, Jul.**, Leben und Sitten der Römer in der Kaiserzeit I.
298 Seiten. Mit 9 Vollbildern und 70 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 16. **Peters, Prof. Dr. C. F. W.**, Die Fixsterne. 176 Seiten. Mit 69 Abbildungen.

Bd. 17. **Jung, Jul.**, Leben und Sitten der Römer in der Kaiserzeit II.
280 Seiten. Mit 10 Vollbildern und 63 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 18. **Schultz, Prof. Dr. A.**, Kunstgeschichte I.
284 Seiten. Mit 38 Vollbildern und 120 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 19. **Der Weltteil Europa I. Willkomm, Dr. Moritz**, Die pyrenäische Halbinsel I.
260 Seiten. Mit 26 Vollbildern und 14 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 20. **Lehmann, Paul**, Die Erde und der Mond.
280 Seiten. Mit 6 Vollbildern und 59 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 21. **Schultz, Prof. Dr. A.**, Kunst und Kunstgeschichte II.
262 Seiten. Mit 44 Vollbildern und 42 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 22. **Der Weltteil Amerika I. Ochsenius, C.**, Chile. Land und Leute. 268 Seiten.
28 Vollbildern, 59 in den Text gedruckten Abbildungen und 2 Karten in Holzstich.

Bd. 23. **Meyer von Waldeck**, Rußland. Einrichtungen, Sitten und Gebräuche.
282 Seiten. Mit 27 Vollbildern und 51 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 24. **Der Weltteil Afrika II. Hartmann, Prof. Dr. R.**, Die Nilländer.
224 Seiten. Mit 10 Vollbildern und 65 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 25. **Wirth, Max**, Das Geld. 224 Seiten. Mit 103 Abbildungen.

Bd. 26. **Hopp, E. O.**, Geschichte der Vereinigten Staaten von Nord-Amerika I.
232 Seiten. Mit 50 Abbildungen.

Bd. 27. **Valentiner**, Kometen und Meteore. 240 Seiten. Mit 62 Abbildungen.

Bd. 28. **Waßmuth, Prof. A.**, Die Elektrizität und ihre Anwendung.
196 Seiten. Mit 119 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 29. **Der Weltteil Afrika III. Falkenstein, Dr. J.**, Afrikas Westküste.
218 Seiten. Mit 79 in den Text gedr. Abbild.

Bd. 30. **Geschichte des Kunstgewerbes.** I. **Blümner, Prof. Dr. H.**, Das Kunstgewerbe im Altertum. 270 Seiten. Mit 133 in den Text gedr. Abbildungen.

Bd. 31. **Der Weltteil Europa II. Willkomm, Dr. M.**, Die pyrenäische Halbinsel II.
244 Seiten. Mit 11 Vollbild und 27 in den Text gedr. Abbildungen.

Bd. 32. **Geschichte des Kunstgewerbes.** III. **Schorn**, Die Textilkunst.

Folgende Bände sind in Vorbereitung und werden in rascher Reihenfolge erscheinen:

Behaghel, Dr. Otto, Die deutsche Sprache.
Bernstein, Prof. Dr. Julius, Naturkräfte.
Brosien, Karl der Große.
Detlessen, Dr. E., Wie wächst die Pflanze?
Egli, Prof. Dr. J. J., Die Schweiz. (Mit Abbildungen.)
Elsas, Der Schall.
Fournier, Prof. A., Napoleon I. (Eine Biographie.)
Fritsch, K. v., Prof. Dr., Geschichte der Tierwelt. (Mit Abbildungen.)
Fritsch, Prof. G., Südafrika. (Mit Abbildungen.)
Geschichte der Malerei.
I. Geschichte der deutschen Malerei.
II. Geschichte der niederländischen Malerei von Dr. A. von Wurzbach.
III. Geschichte der italienischen Malerei von Prof. Dr. Janitschek.
IV. Geschichte der spanischen, französischen und englischen Malerei.
Geschichte der Architektur.
I. Die Baukunst des Altertums.
II. Die Baukunst des Mittelalters.
III. Die Baukunst der Renaissance.
IV. Die Baukunst der Neuzeit.
Gindely, Prof. A., Albrecht von Waldstein. (Eine Biographie.)
— Gustav Adolf, König von Schweden. (Eine Biographie.)
Graber, Prof., Dr., Die mechanischen Werkzeuge und Einrichtungen der Tiere.
— Die Hauptpläne der tierischen Organisation.
Hansen, Die Ernährung der Pflanze.
Hartmann, Prof. Dr. R., Madagaskar.
Kirchhoff, Prof. Dr. A., Bilder aus der Völkerkunde. (Mit Abbildungen.)
Kretzschmar, Dr. H., Geschichte der Oper. (Mit Abbildungen.)
Krümmel, Dr. Otto, Der Ozean und die Binnenmeere. (Mit Abbildungen.)
Kugler, Geschichte des deutschen Volkes.
Lorenz, Die Revolutionen von 1848—49.
Lippert, Jul., Allgemeine Culturgeschichte in Einzeldarstellungen.
Nüßlin, Prof., Das Tierleben unserer Seen und Flüsse.
Ochsenius, Bolivia und Peru. Schilderung von Land und Leute. (Mit Abbildungen.)
Pinner, Prof. Dr., Die Gesetze der Naturerscheinungen.
Proskauer, Dr. B., Beleuchtungsstoffe. (Mit Abbildungen.)
Rein, Prof., Dr., Marocco. (Mit Abbildungen.)
Schaßler, Dr. Max, Ästhetik.
Schütz, Friedr., Geschichte Österreichs von 1848—1870.
Sell, Prof. Dr., Das Wasser. (Mit Abbildungen.)
Sellin, Brasilien.
Semper, Dr. H., Geschichte der Plastik. (Mit Abbildungen.)
Studer, Prof., Allgemeine Tiergeographie. (Mit Abbildungen.)
Taschenberg, Dr. Otto, Bilder aus dem Tierleben.
Toula, Prof. Dr. F., Die Erde als Weltkörper (Relief, ihr Inneres, ihre Entstehung 2c.). (Mit Abbildungen.)

Fortsetzung am Schluß des Buches.

Das Wissen der Gegenwart

Deutsche Universal-Bibliothek für Gebildete.

XXXVIII. Band.

Die Ernährung der Pflanzen

von

Dr. Adolph Hansen.
Assistent am botan. Institut zu Würzburg.

Mit 74 in den Text gedruckten Abbildungen.

Leipzig: G. Freytag. 1885. Prag: F. Tempsky.

Vorwort.

Es sind zwei Punkte, welche einen Gegenstand für eine populäre Darstellung geeignet machen: das allgemeine Interesse eines weiteren Leserkreises für das Thema und die Möglichkeit, dasselbe ohne große Anforderungen dem Verständnis nahe zu bringen. Durchaus nicht allen Gebieten der Pflanzenphysiologie kann eine relativ leichte Verständlichkeit und eine leichtere litterarische Behandlungsweise zugesprochen werden, wie dem Kapitel der Ernährungslehre. Das Vergnügen, welches fast jedermann am Züchten von Pflanzen hat, die nahe Beziehung in welcher jeder mehr oder weniger zur Pflanzenkultur im großen steht, drängt aber auch besonders den Wunsch einer größeren Einsicht in die wissenschaftlichen Prinzipien der Pflanzenernährung unmittelbar auf. Einem solchen Wunsche entgegenzukommen, ist das vorliegende Büchlein geschrieben worden und will durch möglichste Verständlichkeit mit möglichster Hinweglassung alles gelehrten Nebenapparates den Einblick in die ebenso wichtige als für den wissenschaftlicher Lektüre geneigten Leser anziehende Ernährungslehre fördern. Das Experiment, das lebendige Beispiel für die naturwissenschaftliche Erörterung ist zwar nur demjenigen zugänglich, der die Hörsäle besucht. Einen gewissen Ersatz für dies unentbehrliche Hilfsmittel findet der Leser in einer größeren Anzahl Abbildungen, welche viel weniger einen Schmuck als eine notwendige Ergänzung des Textes bilden.

Würzburg, Dezember 1883.

Dr. A. Hansen.

Inhaltsverzeichnis.

Es ist noch eine Anzahl von Druckfehlern stehen geblieben und wird wenigstens auf die störendsten aufmerksam gemacht.

Seite 112	Zeile 9	von unten	lies:	für den Landmann.
„ 152	„ 11	„	„	Fig. 33.
„ 170	„ 3	„ oben	„	Durch den Eintritt der Turgescenz in den Schließzellen wird der Spalt geöffnet, durch Sinken des Turgors geschlossen.
„ 182	„ 17	„ unten	„	Ingredienzien.
„ 184	„ 1 u. 2	„	„	sind die Buchstaben (a) und (b) zu vertauschen.

Einleitung.

Wir bezeichnen mit dem Worte Leben einen Komplex von Erscheinungen, welche sich täglich in uns und um uns bemerkbar machen, welche auch jahrhundertelang nicht nur bemerkt, sondern der aufmerksamsten Beobachtung unterworfen wurden, und für die wir trotzdem keine auch nur annähernd plausible Erklärung, sondern nur ein Wort zur Bezeichnung besitzen. Vergebens suchen wir nach der Lösung dieses Rätsels, für das die Wissenschaft unter dem ganzen Reichtum der Sprache nicht einmal einen adäquaten Ausdruck findet. Wir können das Leben eines Organismus als die Gesamtheit seiner Äußerungen bezeichnen, ohne doch in diesem Satze eine weitere Erklärung des Lebens gegeben zu haben. Davon sind wir aber überzeugt, daß diese Lebenserscheinungen Reaktionen sind, welche von bestimmten Verhältnissen außerhalb des Organismus abhängen und wir nennen diese äußeren Verhältnisse, welche durch ihre Einwirkung die Lebensäußerungen auslösen, Lebensbedingungen.

Keine der allgemeinen Bedingungen des Lebens erscheint in ihrer Notwendigkeit so selbstverständlich wie die Ernährung. Jedermann weiß, daß die Lebensflamme erlischt, wenn sie nicht durch Zuführung von Stoffen unterhalten wird. Daß das nicht nur für Menschen und Tiere gilt, sondern daß auch die Pflanzen sich ernähren müssen, da sie ebenso gut wie jene lebende Organismen sind, daran zweifelt heutzutage niemand mehr. Allein über die Art und Weise wie dies geschieht und über die Stoffe,

wovon sich die Pflanzen ernähren, trifft man sogar heute noch in nicht fachmäßig gebildeten Kreisen oft recht sonderbare Meinungen. Das kommt eben daher, daß man von der Ernährungsthätigkeit der Pflanzen ohne weiteres viel weniger sieht als von anderen Lebensäußerungen derselben. Wir können eine Pflanze aussäen, sie wächst und gedeiht, bringt Blüten und Früchte, ohne daß man auch nur irgendwie wahrnimmt, wie die Pflanze sich ernährt. Die Thatsache, daß die große Mehrzahl der Pflanzen im Boden wurzelt, hatte schon früher zu der Annahme verleitet, alle Pflanzennahrung befände sich im Boden niedergelegt und die Wurzeln brauchten dieselbe nur aufzunehmen, damit die Pflanze gedeihen könne, und auch heute ist es noch eine ziemlich landläufige Meinung, daß die Pflanzen alle ihre Nahrung aus dem Boden nähmen. Aber obgleich eine Pflanze abstirbt, wenn man sie aus dem Boden reißt, so ist doch in dem eben erwähnten Glauben über die Pflanzenernährung auch nicht annähernd das richtige getroffen.

In einer Beziehung ist man in weiteren Kreisen über das Nahrungsbedürfnis der Pflanzen ganz einig. Ich meine bezüglich der Wasseraufnahme. Die unmittelbare Anschauung ergiebt, daß die Pflanzen draußen des Regens bedürfen, und jedermann, der auch nur einen Blumenstock an seinem Fenster zieht, weiß, daß er seine Pflanze begießen muß. Dies ist der einzige Tribut, den die Pflanze unbedingt fordert, wenn sie nicht sterben soll und der auch überall geleistet wird, wo Pflanzen kultiviert werden, sei dies im Zimmer oder im Garten. Die ganze Wissenschaft der professionellen Gärtner bezüglich der Pflanzenernährung beschränkt sich sogar leider meistens auf die Kenntnis und Erfüllung dieser einen Forderung, kein Wunder also, daß auch heute noch Unkundige geneigt sind, das Wasser für die einzige Nahrung der Pflanzen überhaupt zu halten. Dieser Glaube drängt sich auch bei der gewöhnlichen Art, die Dinge aufzufassen, so sehr auf, daß er sogar einmal in der Wissenschaft herrschend war. Freilich war dies vor 250 Jahren.

Es hegte nämlich ein belgischer Arzt und Gelehrter Johann Baptist van Helmont, welcher 1577 in Brüssel geboren wurde, die Ansicht, daß Wasser die alleinige Nahrung der Pflanzen sei. Auch in jener Zeit beschäftigten sich denkende Männer mit der Frage der Pflanzenernährung, und der genannte Gelehrte suchte durch seine Meinung, daß das Wasser die Nahrung der Pflanzen sei, die damals allgemein respektierte aristotelische Ernährungslehre zu widerlegen. Diese Lehre bestand eben in dem schon oben erwähnten Satze, daß alle Pflanzennahrung im Boden niedergelegt und fertig zubereitet sei und von den Pflanzen nur aufgenommen zu werden brauche, um ihr Leben zu unterhalten. v. Helmont stellte zur Prüfung dieser Meinung ein Experiment an und betrat dadurch im Gegensatz zu dem bloß dogmatischen Glauben an den Satz des Aristoteles den Weg naturwissenschaftlicher Forschung. Er pflanzte eine Weide, welche er vorher gewogen hatte in einen Topf, der 200 Pfund Erde enthielt und begoß seine Pflanze täglich mit Regenwasser. Die Weide gedieh, nahm zu und hatte nach fünfjähriger Kultur um 164 Pfund an Gewicht gewonnen. Die Erde des Topfes dagegen hatte nur 2 Unzen (60 Gramm) an Gewicht verloren, folglich konnten die 164 Pfund Pflanzensubstanz, welche die Weide gebildet hatte, nicht aus der Erde entnommen sein und folglich war der Satz des Aristoteles, daß alle Pflanzennahrung aus der Erde stamme, falsch. Aber auch van Helmonts eigene Meinung, daß seine Weide ihre ganze Gewichtszunahme dem Wasser verdanke, womit er sie begossen, war nicht die richtige.

Weder die Bestandteile des Bodens, noch des Wassers allein, bilden die Nährstoffe der Pflanzen. Dennoch steckt etwas Wahres in diesen Ansichten, denn sowohl der Boden wie das Wasser liefern einen Teil der Nährstoffe, welche die Pflanze braucht, aber nur einen Teil. Gerade der bemerkenswerteste Nährstoff jedoch stammt weder aus dem festen Boden noch aus dem Wasser. Gerade er und der Vorgang seiner Aufnahme entzieht sich der

unmittelbaren Beobachtung und das ist der Grund, daß er nicht beachtet wird, ja vielen Menschen ganz unbekannt ist. Dieser Pflanzennährstoff, welcher den Hauptbestandteil aller Pflanzensubstanz ausmacht, ist der Kohlenstoff.

Die Entdeckung dieser Thatsache ist eine der bedeutendsten in der Naturwissenschaft zu nennen. Nur Geistern ersten Ranges konnte es gelingen den Kohlenstoff, dessen Aufnahme durch die Pflanze sich der gewöhnlichen Beobachtung entzieht, als Nährstoff der Pflanzen zu entdecken. Wir verdanken einer an großen wissenschaftlichen Entdeckungen reichen Zeit, dem Ende des 18. Jahrhunderts, auch diese Errungenschaft. Nachdem man vorher die verschiedensten Meinungen über die Pflanzenernährung aufgestellt hatte, entdeckte der Holländer Jan Ingenhouß im Jahre 1779, daß von grünen Blättern im Sonnenlicht Sauerstoff ausgeschieden werde und daß dieser Sauerstoff ein Produkt aus der durch die grünen Blätter zersetzten Kohlensäure der Luft sei, der die Pflanzen ihren Kohlenstoff entnehmen. Man muß die Geschichte der Wissenschaft studieren, um einen Begriff davon zu bekommen, welcher Scharfsinn zu der Entdeckung dieser heute in einem kurzen Satze mitgeteilten Thatsache aufgeboten wurde. Seit jener Zeit wurde die Entdeckung Ingenhouß' von den bedeutendsten Köpfen, namentlich durch den großen Genfer Gelehrten Theodore de Saussure durch ein 1804 erschienenes Werk genialer Untersuchungen fester begründet, aber erst in neuerer Zeit durch die künstliche Ernährung der Pflanzen auf das Durchschlagendste bewiesen.

Nachdem dies geschehen geht es auch hier, wie in anderen Dingen. Nachdem die Schwierigkeiten durch den Scharfsinn des Entdeckers ein für allemal überwunden sind, ist es für jedermann leicht, das richtige zu erkennen. Heute sind wir nicht mehr im Zweifel darüber, daß der Kohlenstoff ein unentbehrlicher Pflanzennährstoff ist.

Jedes Blatt, jedes Stück Holz kann uns davon überzeugen, daß die Pflanze Kohlenstoff in reichlicher Menge enthält. Bei

der Verbrennung verkohlt das Holz, d. h. der Kohlenstoff, welcher in der Pflanzensubstanz, im Holz, vorhanden ist, wird in Form der schwarzen Kohle abgeschieden, ehe er selbst weiter verbrannt wird. Jedermann, der sich um menschliche Beschäftigungszweige etwas kümmert, weiß, daß in den Kohlenmeilern die Holzkohle durch Erhitzen von Holz unter Luftabschluß entsteht. Die Holzscheite werden aufgeschichtet, mit Erde bedeckt und das entzündete Holz verkohlt langsam unter der Erddecke. Welche Mengen Kohlenstoff das Holz enthält, ergiebt sich ja daraus, daß das Holzstück seine Form fast ganz behält, wie man an jedem Stück Holzkohle sehen kann. Was kann uns aber wohl eindringlicher den Kohlenstoffreichtum der Pflanze bestätigen, als die ungeheuren Steinkohlenlager, welche das Innere der Erde birgt. Was heute aus den Bergwerken als Steinkohle zu Tage gefördert wird, sind die Kohlenstoffmassen, welche von ausgedehnten Wäldern übrig blieben, die lange vor dem Erscheinen des Menschen die ersten festen Kontinente, die über das Meer emporgestiegen, bedeckten. Die damaligen, ganz anderen Verhältnisse der Temperatur und der Atmosphäre bewirkten eine ungemein üppige Vegetation. Alle diese Pflanzensubstanz aber ging im Laufe der Jahrtausende zu Grunde und wurde von mächtigen Sedimentschichten bedeckt. Die chemischen Umlagerungen, welchen diese Pflanzenleichen bei ihrer äußerst langsamen Vermoderung unter Luftabschluß unterlagen, bewirkten, daß ihr Kohlenstoff zum größten Teil in mehr oder weniger reiner Form abgeschieden wurde und bis auf unsere Tage erhalten blieb. Erst die neuere Zeit trat dies Erbteil früherer Epochen an, um es praktisch zu verwerten, und entdeckte dabei, daß die Steinkohle aus verkohlten Pflanzenmassen bestehe.

Die sprechenden Thatsachen, welche ich eben angeführt habe, sind für die vorläufige Begründung, daß der Kohlenstoff ein wichtiger Bestandteil jeder Pflanze sei, von Interesse und Bedeutung. Es wurde aber schon oben der Kohlenstoff nicht als Pflanzenbestandteil, sondern als P f l a n z e n n ä h r s t o f f be-

zeichnet, und ehe wir zur Begründung und zum Beweise der Nährstoffnatur des Kohlenstoffs übergehen, muß zunächst die allgemeine Frage: Was ist ein Nährstoff? beantwortet werden. Ein kurzes Nachdenken genügt schon, um einzusehen, daß trotz der Bezeichnung der menschlichen Speise im allgemeinen als „Nahrung“ nicht alle Bestandteile derselben wirkliche Nährstoffe für den Körper sind. Man braucht nur an die Stoffe zu erinnern, welche, wie die Gewürze, die Speisen nur genießbarer, schmackhafter machen, ohne ihren Nährwert zu erhöhen. Nährstoffe hat man allein diejenigen Substanzen zu benennen, welche zur Erhaltung eines Organismus unbedingt nötig sind und ohne welche die Existenz desselben unmöglich wäre. So müssen wir also auch für die Pflanze die Frage, was sind ihre Nährstoffe, beantworten: Nährstoffe der Pflanze sind diejenigen Substanzen, ohne welche die Pflanze nicht existieren kann.

Das ist durchaus einleuchtend. Allein man sieht sich nach Gewinnung dieser Einsicht einer neuen Aufgabe gegenüber. Es handelt sich ja nun eben darum, die der Pflanze absolut unentbehrlichen Stoffe, ihre wirklichen Nährstoffe erst aufzufinden.

Ganz verschiedenartige Stoffe treten in den Pflanzenkörper ein, aber es liegt kein Grund vor, ohne weiteres anzunehmen, daß alle Substanzen, welche die Pflanze von außen überhaupt aufnimmt, auch Nährstoffe seien. Man müßte dann schon voraussetzen, daß die Pflanze besondere Organisationsverhältnisse besäße, welche nur den Nährstoffen die Aufnahme ermöglichte, während unbrauchbare Stoffe zurückgewiesen würden. Das ist nicht der Fall. Die Pflanze besitzt für diesen Zweck keine besonderen Einrichtungen ihres Baues, noch viel weniger ein Unterscheidungsvermögen für Nährstoffe und nutzlose Substanzen. Ob Stoffe von der Pflanze aufgenommen werden oder nicht, darüber entscheiden nur gewisse physikalisch-chemische Eigenschaften der Substanzen, vor allem ihre Löslichkeit in Wasser. Sind diese Bedingungen erfüllt, dann können nicht nur Stoffe in die Pflanze eintreten, welche ihr nichts nützen, sondern sogar schädliche Sub-

stanzen, wie Gifte. Es wäre also eine durchaus voreilige Meinung zu glauben, alles was die Pflanze aufnimmt, seien Nährstoffe.

Der Weg, den die Forschung machen mußte, um die wirklichen Nährstoffe der Pflanze zu entdecken, war ein langer und mühsamer, und wenn in einer Darstellung der erlangten Resultate diese lange Bahn in eine kleine Wegstrecke sich verkürzt, so ist es doch noch immer eine Strecke, welche der Leser selbstdenkend zurücklegen muß, um zum Verständnis eines Naturvorganges zu gelangen.

Wären wir imstande, alle Stoffe ausfindig zu machen, welche die Pflanzen enthalten, so werden sich darunter auch diejenigen befinden, welche als die eigentlichen Nährstoffe der Pflanze bezeichnet werden müssen. Dies Ziel läßt sich ohne große Schwierigkeit erreichen, aber wir bedürfen dazu der Hilfe einer anderen Wissenschaft, der Chemie.

Die Chemie giebt uns Antwort auf unsere Frage, welche Substanzen der Pflanzenkörper enthält, durch die chemische Analyse. Da stellt sich nun heraus, daß es von den 65 einfachen Stoffen, welche die Erde bilden, nur wenige sind, die am Aufbau des Pflanzenkörpers teilnehmen. An erster Stelle müssen wir den Kohlenstoff nennen, jenen Proteus der bald als strahlender Diamant, bald als tiefschwarze Kohle oder als metallglänzender Graphit schon im elementaren Zustande einen Wechsel der Affinitätsäußerungen zeigt, welcher die Überraschung über die unbegrenzt zu nennende Anzahl seiner Verbindungen beinahe mindern könnte. Ihn finden wir auch als den maßgebenden Bestandteil derjenigen Substanzen, welche im pflanzlichen Organismus durch die gestaltenden Kräfte bewegt, die lebendigen Formen bilden. Neben dem Kohlenstoff sind es der Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, drei Elemente, deren Mitwirkung beim Aufbau der Bestandteile lebendiger Körper ja ganz bekannt ist, welche auch den Pflanzenleib mit aufbauen. Weiter gehören Phosphor und Schwefel zu den Pflanzen-

bestandteilen, und nun haben wir eine Reihe von Elementen aufzuzählen, welche wir sonst ganz besonders in der leblosen Natur, in den Mineralien zu finden gewöhnt sind. Es sind die Alkalien: Kalium und Natrium und die alkalischen Erden Kalcium und Magnesium. Unsere Stoffreihe mehrt sich aber noch, auch Chlor, Brom und Jod gehören dazu und das Silicium; die Pflanze enthält sogar einige Metalle, das Eisen und Zink.

Käme es nun hier darauf an, eine genaue Liste von Pflanzenbestandteilen anzufertigen, so müßten wir außer den 16 genannten Körpern noch eine ganze Anzahl von Elementen, sogar auch mineralisch seltene Funde, wie das Titan und Thallium anführen. Die Vollständigkeit unserer Tabelle würde uns aber nur den Vorwurf einer gedankenlosen Spielerei eintragen, denn es muß von vornherein betont werden, daß jene selteneren Elemente nur ganz ausnahmsweise in den Pflanzen vorkommen, und ihre Gegenwart nur Zufälligkeiten verdanken. Sie können deshalb für den Lebensprozeß keine Bedeutung haben, ihr Vorkommen ist aber ein Beweis für unsern oben ausgesprochenen Satz, daß die Pflanze auch für sie nutzlose Stoffe aufnimmt. Wir sind im Gegenteil berechtigt, unsere soeben umgrenzte Stoffreihe noch einmal zu revidieren und eine Anzahl der dort bezeichneten Elemente auszuscheiden. Denn es leuchtet wohl ein, daß manche dieser Substanzen, welche wie das Brom und Jod zwar regelmäßig, aber doch nur in einer kleinen Genossenschaft des großen Pflanzenreiches, nämlich in den Meerespflanzen, den Tangen, sich finden, für das Pflanzenleben im allgemeinen von geringer, vielleicht von gar keiner Bedeutung sein werden. Ganz besonders können wir dem Zink nicht die Stelle eines bedeutungsvollen Pflanzenbestandteiles zuerkennen, da es sich nur in einzelnen Pflanzen findet und unter Umständen, die seine Gegenwart vollkommen erklärlich machen. Auf zinkhaltigem Boden wachsende Pflanzen nehmen mit den unentbehrlichen Boden=

bestandteilen auch Zink auf und ihre Blätter enthalten davon merkliche Quantitäten.

Allein selbst nach Ausschluß einiger der angeführten Elemente durch diese Musterung bleibt doch noch eine Mehrzahl übrig, bei denen wir im Zweifel sein können, ob alle oder nur ein Teil dieser Pflanzenbestandteile auch Pflanzennährstoffe sind. Die quantitativen Verhältnisse bieten uns keinen Anhaltspunkt zur Entscheidung. Aus den relativen Stoffquantitäten auf ihre Wichtigkeit schließen zu wollen, wäre Übereilung. Die analytischen Zahlen, welche uns den Gehalt einer Pflanze an dem ganz bedeutungslosen Zink als einen beträchtlichen erweisen, liefern für den Schwefel, für das Eisen nur niedrige Werte und doch ist die Wenigkeit Eisen für die Pflanze ganz unentbehrlich, während die handgreifliche Zinkmenge wertlos ist.

Rein chemische Betrachtungen ermöglichen uns, das sehen wir wohl, kein Urteil, ob wir unsere Tabelle mit der Überschrift „Nährstoffe der Pflanzen" versehen dürfen oder nicht. Es ist aber auch unsere Berechtigung, die Hilfe der Chemie zu benutzen, zu Ende. Sie hat uns die Stoffe, welche überhaupt in der Pflanze vorhanden sind, nebeneinander gelegt, und die Aufgabe, die Bedeutung der einzelnen Stoffe für die Lebensprozesse zu finden, fällt ihr nicht zu. Das ist nun eben die Aufgabe oder eine von den Aufgaben der Pflanzenphysiologie und der Weg, welcher zur Erlangung des Zieles führt, ist der der experimentellen Forschung. Was diese bezüglich der Ernährung der Pflanzen geleistet, soll dem Leser in dem vorliegenden Büchlein mitgeteilt werden und indem wir jetzt in unser eigentliches Thema eintreten, wollen wir versuchen ein Bild der so überaus wichtigen Ernährungsvorgänge in der Pflanze zu entrollen.

Die Quelle des Kohlenstoffs.

Wenn wir die Bedeutung der einzelnen Pflanzenbestandteile für das Leben der Vegetation studieren, können wir mit jedem derselben beginnen. Wo für das Zustandekommen einer

Schöpfung der Natur oder der Kunst alle Glieder so unentbehrlich sind, daß das Fehlen auch nur eines Elementes die Existenz des Erzeugnisses überhaupt ausschlösse, können wir nicht nach größerer und geringerer Wichtigkeit eine Reihenfolge anordnen. Wir lassen im vorliegenden Fall dem Kohlenstoff aus dem Grunde den Vorrang, weil er quantitativ ein Übergewicht im Pflanzenkörper besitzt und weil er den Verbindungen der organischen Welt ihren besonderen Charakter aufdrückt. In diesem Sinne dürfen wir also seine Bedeutsamkeit wohl markieren.

Ungefähr die Hälfte der festen Substanz einer getrockneten Pflanze besteht aus Kohlenstoff. Diesen Kohlenstoff entnahm die Pflanze während ihres Lebens ihrer Umgebung und verleibte ihn durch ihre Ernährungsthätigkeit ihrer Körpersubstanz ein. Ein Eichenstamm wiegt 40, 60, 100, ja 200 Zentner. Ziehen wir von diesem letzteren Gewicht 20% Wasser ab, welches der Koloß in der Substanz seines Holzes noch enthält, so restiert ein Trockengewicht von 160 Zentnern. 95% dieser Holzmasse sind organische Substanzen und die Hälfte derselben ist Kohlenstoff, das macht 76 Zentner. Sechsundsiebzig Zentner Kohlenstoff, ein einziger Eichbaum hat sie allein in der Holzmasse seines Stammes aufgespeichert. Äste und Krone, das mächtige Wurzelsystem und die Masse des Laubes sind noch gar nicht in Betracht gezogen und doch wiegen sie zusammen zum mindesten doppelt soviel, wie der Stamm. Für den ganzen Baum haben wir also das dreifache Quantum Kohlenstoff 228 Zentner oder 11 400 Kilogramm Kohlenstoff in Rechnung zu bringen. Wir haben hier einen extremen Fall, einen Baumriesen als Beispiel der Produktion von Kohlenstoffverbindungen durch die Pflanze gewählt, aber auch ein Baum mittlerer Dimension, der immer noch seine 2500 Kilogramm oder 50 Zentner Kohlenstoff enthält, alteriert nicht unsere Vorstellung von der Großartigkeit dieser Aufspeicherung von Kohlenstoff. Ist doch sogar eine kleinere Pflanze, wie eine Sonnenrose, imstande, in der kurzen Zeit des Sommers, den man etwa 100 Tage rechnen

kann, 2–3 Kilogramm Trockensubstanz zu erzeugen, woraus sich ein Kohlenstoffgehalt von ca. 950—1400 Gramm ergiebt. Wie schon gesagt ist dieser Kohlenstoff erst allmählich der Pflanze einverleibt worden. Er stammt aus ihrer Umgebung, und ihn dieser zu entnehmen, ist die bedeutsamste Arbeit, welche die anscheinend müßige Pflanze leistet.

Zweierlei Fragen knüpfen sich an diese redenden Zahlenangaben. Die eine sucht die Quelle des Kohlenstoffs, die andere bezieht sich auf die Form, in welcher der Kohlenstoff von der Pflanze aufgenommen wird. Die Beantwortung unserer ersten Frage ist durch die schon vorläufig gemachte Bemerkung vorbereitet, daß die Pflanzen ihren Kohlenstoff nicht aus dem Boden nehmen. Außer dem festen Boden giebt es aber nur noch ein Medium, welches die Pflanze umgiebt. Es ist die Atmosphäre, und in der That ist sie das Reservoir, aus dem der Kohlenstoff der Pflanze zufließt. Aus der Atmosphäre kann nun der Kohlenstoff nur in der Form von Kohlensäure in die Pflanze gelangen, denn andere Kohlenstoffverbindungen enthält die Luft nicht. Daß unsere Atmosphäre, die im wesentlichen aus einem Gemenge von $^1/_5$ Sauerstoff und $^4/_5$ Stickstoff besteht, daneben eine Quantität Kohlensäure enthält, ist bekannt. Diese atmosphärische Kohlensäure ganz allein ist es, welche den grünen Pflanzen jene Kohlenstoffmassen zuführt, deren Zahlennachweis uns jedenfalls einige Verwunderung abnötigt. Der Kohlenstoff, welcher die festen Substanzen des Pflanzenkörpers bildet, wird also nicht in fester Form aufgenommen. Nicht als Element, nicht etwa als Kohle gewinnt die Pflanze ihren Kohlenstoff, sondern sie nimmt ihn auf in der Form von Kohlensäure, jenes Gases, dessen hervorstechendste Eigenschaften jedermann aus dem täglichen Leben bekannt sind. Wie der Kohlenstoff aus der gasförmigen Kohlensäure abgespalten wird, wie er in der Begegnung mit anderen Elementen zu jenen Verbindungen zusammentritt, welche die Bausteine des Organismus sind, wird

später in einem Hauptabschnitte dieser Darstellung auseinandergesetzt werden.

Zunächst ist es aber durch die Gasnatur der Kohlensäure und durch die Eigenschaften dieses Gases verständlich geworden, daß die Aufnahme des Kohlenstoffs durch die Pflanze nicht ins Auge fallen kann. Die Bewegung der farblosen Kohlensäureteilchen, welche die Luft durchfliegen und der Pflanze zuströmen, muß dem Blick ebenso verborgen bleiben, wie der Sturz eines Regentropfens, der in einem Wasserbecken versinkt. Heute wundert man sich nicht mehr, wenn die Naturwissenschaft eine Eröffnung macht, welche eine allgemein verbreitete und sanktionierte Meinung über irgend welches Vorkommnis erschüttert. Es ist aber gewiß erklärlich, daß, als im Jahre 1779 der Holländer Jan Ingenhouß die atmosphärische Kohlensäure als Quelle des pflanzlichen Kohlenstoffs aufdeckte, seine Entdeckung nicht nur Verwunderung erregte, sondern daß der Anprall der neuen Wahrheit gegen den scholastischen Lehrsatz so wuchtig war, daß der Keim des Zweifels, der dem Erstaunen immer innewohnt, zum mächtigen Gegenpart aufschoß. Und doch war jene Abwehr keine bloße Borniertheit und kein thörichter Widerspruch. Der Zweifel hatte seine Berechtigung, denn über den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre fehlte damals die sichere Bestätigung, und einen Beweis, wie ihn heute jeder Schüler aus seinen Kenntnissen beibringt, gab es nicht. Der gewaltige Reformator der Chemie Lavoisier selbst leugnete den Kohlensäuregehalt der Luft. Dies konnte den vorurteilslos blickenden Ingenhouß nicht hindern, seine auf fester naturwissenschaftlicher Forschung basierende Entdeckung aufrecht zu erhalten. „Hier scheint eine Schwierigkeit einzutreten“ sagt er in einer seiner Schriften, „wie eine Pflanze aus der atmosphärischen Luft Kohlensäure ziehen könne, da gemeine Luft nur $^1/_{100}$ davon enthält und nach Lavoisier gar keine. Ich glaube aber durch Fakta hinlänglich bewiesen zu haben, daß die Vegetabilien ein Vermögen haben die Kohlensäure aus der Atmosphäre abzusondern; ohn-

geachtet die französischen Chemiker versichern, daß gemeine Luft an sich selbst gar keine Kohlensäure enthalte, wovon man indes bei dem ewigen Wechsel der Stoffe, bei der Zahl neuer Bindungen, Mischungen, Umhüllungen und Affinitäten, welche ununterbrochen in der belebten und unbelebten Welt vorgehen, nicht leicht Rechenschaft ablegen kann."

Eine kühne Sicherheit spricht aus diesen Worten und jener Gelehrte hatte die feste Überzeugung, daß nur die Kohlensäure der Luft den Pflanzen ihren Kohlenstoff liefere. Es konnte nicht anders sein, jede andere Annahme widersprach den Ergebnissen seiner Beobachtungen und Experimente, jener Sprache, welche dem Forscher, der sie beherrscht, eine untrügliche Garantie sein muß. Eine vollkommene und endgültige Begründung der Entdeckung war damals unmöglich und das Gewölk der Einwände umzog immer dichter den hellen Himmel, den der Genius eben erleuchtet. Doch vor der siegenden Forschung konnte der Nebel nicht stand halten. Die bedeutendsten Köpfe widmeten ihr Denken und ihren Scharfsinn der Aufklärung der Ernährungsvorgänge und die Bedeutung der Kohlensäure der Luft für die Pflanze wurde fest und fester begründet und heute ist keine Ungewißheit über diesen Punkt mehr vorhanden. Ein Zweifel, der sich heute blicken ließe, würde ebenso zum Gespött werden wie ein Bedenken, daß die Erde sich um die Sonne drehe. Hier und da hat man allerdings auch in der gegenwärtigen Zeit Gelegenheit demselben Einwande zu begegnen, der schon vor hundert Jahren der Theorie des Ingenhouß gemacht wurde. Es wird gefragt, ob der geringe Kohlensäuregehalt der Luft denn auch ausreiche, der gesamten ansehnlichen Vegetation unserer Erde die Kohlenstoffmassen zuzuführen, deren Riesenhaftigkeit unsere Berechnungen dokumentieren. Es ist allerdings der anscheinend so geringe Kohlensäuregehalt der Luft verlockend, einem Bedenken Raum zu geben; allein dies kann nur bei mangelnder Überlegung Einfluß gewinnen, welche vergißt, daß die kleine Zahl der Kohlensäuremenge nur eine Verhältniszahl ist und in

der That ganz ungeheuere Mengen dieses Gases bedeutet. Die Atmosphäre ist ein Gemisch von Sauerstoff und Stickstoff, wie uns seit Dalton bekannt ist und den analytischen Untersuchungen von Boussingault und Dumas im Jahre 1841 verdanken wir die Kenntnis, daß in 100 Gewichtsteilen Luft 23,005 Gewichtsteile Sauerstoff und 76,995 Gewichtsteile Stickstoff enthalten sind. In Volumprozenten ausgedrückt sind 21 Teile Sauerstoff mit 79 Teilen Stickstoff gemischt. Außer dem Wasserdampf und kleinen Mengen anderer Verbindungen ist die Kohlensäure ein steter Bestandteil der Atmosphäre, aber ihr Gehalt an diesem Gase beträgt im Mittel nur 0,04%, also nur 4 Teile Kohlensäure auf 10 000 Teile Luft. 10 000 Liter Luft enthalten also 4 Liter Kohlensäure.

Das scheint allerdings recht dürftig zu sein und dennoch enthält die ganze Atmosphäre nicht weniger als 1,6 Trillionen Liter Kohlensäure. Man kann das Gewicht der gesamten Atmosphäre aus dem Druck berechnen, den sie ausübt. Zieht man vom mittleren Barometerstand den Druck des atmosphärischen Wasserdampfes ab, so bleibt für den Druck der trockenen Luft in runder Zahl 0,750 Meter. Das Gewicht der trockenen Atmosphäre ist also gleich dem Gewicht einer über die Oberfläche der Erde ausgebreiteten Schicht Quecksilber von 0,750 Meter Höhe. Die Oberfläche der Erde zu 9 260 510 Quadratmeilen angenommen, ergiebt sich ein Gesamtgewicht der Atmosphäre von in runder Zahl 5,3 Trillionen Kilogramm. Ein Liter Kohlensäure wiegt 1,970, also beinahe 2,0 Gramm, ein Liter trockener, kohlensäurefreier Luft 1,293 Gramm. Nehmen wir zur Berechnung des Kohlensäuregewichtes das Verhältnis von 4 Teilen auf 10 000 Teile zum Ausgang, so finden wir, daß der ungefähre Gehalt der Atmosphäre an Kohlensäure 3000 Billionen Kilogramm beträgt. Davon sind $^3/_{11}$, also ungefähr 818 Billionen Kilogramm reiner Kohlenstoff. Solche für unsere menschliche Vorstellungsgabe unfaßliche Quantitäten reichen aus, um in Äonen die gesamte Vegetation zu erhalten, auch wenn von

jetzt an nur ein Verbrauch und kein Ersatz der Kohlensäure stattfände. Die Atmosphäre leistet aber die ungeheure Abgabe an Kohlenstoff nicht, ohne durch eine stetige Rückzahlung im Zustande annähernder Unwandelbarkeit erhalten zu werden. Ebenso kolossal, wie die Kohlenstoffmassen, welche durch den pflanzlichen Lebensprozeß der Atmosphäre entzogen werden, sind die Quantitäten, welche durch die verschiedenartigsten Naturvorgänge die Regeneration des Kohlensäuregehaltes der Luft verwirklichen. Das Kohlenstoffteilchen, welches aus der Atmosphäre in den Organismus einverleibt wurde, kehrt nach einer Spanne Zeit in das Luftmeer zurück, dem es entstammt. Die Atmung der Menschen und Tiere ist als einer der Wege bekannt, durch welchen die Deckung der Kohlensäureausfuhr stattfindet. Ein Mensch produziert durch die Lungenatmung allein täglich 450 000 Kubikzentimeter Kohlensäure (Wundt), welche 900 Gramm wiegen und 245 Gramm Kohlenstoff enthalten. Man schätzt die Zahl der Menschen auf 1397 Millionen, eine Zahl, die natürlich nur als Annäherungswert zu betrachten ist. Die gesamte Menschheit würde täglich 628 650 Millionen Liter oder 1257 Millionen Kilogramm Kohlensäure ausatmen, welche 342 Millionen Kilogramm Kohlenstoff enthalten. Die jährliche Leistung aller Menschen würde 124 830 Millionen Kilogramm Kohlenstoff betragen. Nur die menschlichen Erdbewohner schaffen also schon ein erkleckliches Kohlenstoffquantum in die Atmosphäre zurück. Die Individuenzahl der Tiere läßt sich gar nicht mutmaßen. Wenn die Zahl der Insekten allein, wie es nicht unwahrscheinlich ist, sich auf 800 000 bis 1 Million Arten beläuft, so ist die Individuenzahl aller Tiere eine unübersehbare. Hunderttausende von Millionen Kilo Kohlensäure werden durch die Tiere jährlich der Atmosphäre zurückgegeben.

Es ist besonders beliebt geworden, diese Kohlensäurerestitution durch die tierische Atmung in ihrer Bedeutung für das Pflanzenleben zu beleuchten. Es scheint sehr zweckmäßig, daß die Tiere gerade die Kohlensäure ausatmen, welche von den

Pflanzen als Nahrung benutzt wird. Der Kreislauf des Kohlenstoffs stimmte in seiner Zweckdienlichkeit ganz zu vielen anderen Einrichtungen in der Natur, die uns trotz aller Kühle und Besonnenheit, Bewunderung abnötigen. Allein man darf gerade bezüglich der Weisheit der ebenbesprochenen Beziehung zwischen Tieren und Pflanzen nicht zu weit gehen. Man darf nicht vergessen, daß die tierische Atmung gar nicht allein die Kohlensäureschuld der Pflanzen zurückzahlt. Zunächst decken die Pflanzen durch ihre eigene Atmung selbst zum Teil das erzeugte Defizit. Ebenso wie die Tiere atmen die Pflanzen Sauerstoff ein und geben dafür eine Quantität Kohlensäure wieder ab. Zahlenangaben müssen hier ebenfalls wegfallen, da eine Schätzung der Pflanzenindividuen unmöglich ist. Die Annahme, daß der 150ste Teil der festen Erdoberfläche mit einem Areal von 16 400 Quadratmeilen mit Pflanzenwuchs bedeckt ist, ergiebt aber schon, daß die Kohlensäureproduktion durch die Pflanzenatmung ebenfalls einen bedeutenden Wiederersatz der atmosphärischen Kohlensäure bewirkt.

So mächtig ist die Wirkung des Sauerstoffs schon auf den lebendigen Körper, daß er die Anziehung der Elemente aufhebt und einen Teil der Substanzen, die der lebendige Leib in stetiger Arbeit aufbaut, wieder niederreißt. Unausgesetzt rüttelt der Sauerstoff am Gefüge des Organismus, aber erst nach dem Verglimmen des Lebensfunkens fällt alles seiner nivellirenden Macht anheim. In den Prozessen der Fäulnis, der Verwesung, welchen alles Lebendige zueilt, erblicken wir Zerspaltungen der komplizierten organischen Verbindungen in einfachere Produkte. Der Zusammenhang der Elemente lockert sich, losgerissen voneinander eilen sie dem Sauerstoff entgegen und finden nach langer Wanderung in der Vereinigung mit ihm die Ruhe stabileren Gleichgewichtes. Auch der Kohlenstoff und Wasserstoff in verwesenden Pflanzen- und Tiersubstanzen lösen ihre Affinitäten, um sich mit dem Sauerstoff zu verbinden, um wieder Kohlensäure und Wasser zu bilden, was sie waren, ehe sie in die or-

ganische Substanz eingingen. Durch den Verbrennungsprozeß, den die Verwesung darstellt, kehren Massen von Kohlenstoff als Kohlensäure wieder in die Luft zurück. Die Massen tierischer und pflanzlicher Leichen, welche jährlich der Vernichtung unterliegen, auch sie zahlen nur ein geliehenes Kohlenstoffkapital an die Atmosphäre zurück. So ist es also selbst unter den organisierten Wesen nicht die Tierwelt allein, welche den Kohlensäureverbrauch wieder ausgleicht und den entführten Kohlenstoff zurückgiebt, damit er seine Wanderung durch neue Individuen beginne.

Man vergißt aber gewöhnlich was außer den eben angeführten Vorgängen in der unbelebten Welt in dieser Richtung geleistet wird. Durch die erdumgestaltenden Vorgänge des Vulkanismus und durch die Vermittelung des Wassers, welches als Quelle zutage tritt, werden Massen von Kohlensäure freigegeben und mischen sich der Atmosphäre bei. Die Zahl der kohlensäurehaltigen Quellen auf der ganzen Erde ist eine sehr bedeutende. In der Nähe der Vulkane finden sich Mofetten, deren Thätigkeit besonders lebhaft nach den Eruptionen einsetzt. Am bekanntesten ist die Mofette der Hundsgrotte am Lago di Agnano bei Neapel und bekannt die Art, wie man die Neugier der Touristen durch Demonstration der Kohlensäureexhalation befriedigt. Aber auch in Deutschland giebt es zahlreiche Kohlensäurequellen von einer erstaunlichen Produktionsfähigkeit. Die Eifel, jenes beredte Zeugnis für die einstige vulkanische Thätigkeit in unserem Vaterlande, ist ein reichlich mit Kohlensäurequellen besätes Gebiet. Kalt und tot liegen die erloschenen Krater, schon vor menschlicher Zeit haben sie ihre feurige Thätigkeit eingestellt, aber aus der Tiefe brodeln wie die Erinnerungen an jene Erschütterungen, die Gasquellen, und geben Zeugnis von noch dauernden Reaktionen und Umsetzungen. In der Umgebung des Laacher Sees giebt es wohl über 1000 Kohlensäurequellen, oft in Mehrzahl nebeneinander gelegen. Sogar aus dem See selbst steigen nahe am Ufer Kohlensäureblasen auf, ein Beweis, daß auch das Seebecken selbst Quellen birgt. Eine Quelle bei

Burgbrohl exhaliert fast reine Kohlensäure und liefert jährlich nach Bischofs Messungen 1 546 505 bis 2 062 250 Kubikfuß oder 196 370 bis 261 705 Pfund Kohlensäure. Das leistet eine einzige Quelle. In der Umgebung von Marienbad in Böhmen entweichen dem Boden täglich 3600, jährlich 1,3 Millionen Kubikfuß Kohlensäure. Wenn die Gasquellen in emsiger Arbeit Gasblase auf Gasblase zu Millionen Kubikmetern anhäufen, wirft der Vulkan nach längeren Pausen in plötzlichem Paroxysmus auf einmal Fluten von Kohlensäure in die Luft. Was für Quantitäten ein Vulkan, der nur nach längerem Ausruhen einmal wieder ein bischen speit, abgeben muß, kann man sich wohl vorstellen, wenn man sich erinnert, daß bei der Eruption des Vesuvs im Jahre 1822 die Dampfpinie sich bis 3000 Meter erhob. Eine Säule von dieser Höhe mag gewaltige Massen Kohlensäure neben Wasserdampf und anderen Gasen enthalten, die sich der Berechnung allerdings entziehen.

Es ist ja keine Frage, daß der Mensch durch die Verhältnisse, welche er durch seine Kultur geschaffen, die natürlich gegebenen Zustände mannigfach, oft bis zur Unkenntlichkeit umgemodelt hat. Auch an der Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre hat die menschliche Thätigkeit ihren Anteil. Das Zeitalter der Maschinen zahlt eine alte Schuld an die Atmosphäre heim, die frühere Epochen gemacht.

Durch den Verbrennungsprozeß der Steinkohlen kehrt die Kohlensäure in die Atmosphäre zurück, welche vor Jahrtausenden derselben entnommen wurde. Jene Wälder, deren Reste wir als Steinkohle verbrennen, haben ihren Kohlenstoff der damaligen Atmosphäre entnommen und die kolossalen Kohlenmassen, welche jetzt in der Erde liegen, waren einmal als gasförmige Kohlensäure ein Bestandteil der Gashülle unserer Erde. Unzählige Schornsteine von Fabriken, Eisenbahnen und Dampfschiffen führen die Verbrennungsgase der Steinkohle in die Luft zurück, Vorgänge, an deren Riesenhaftigkeit und Bedeutung man gewöhnlich gar nicht denkt.

Auf den drei Hohofenwerken von Krupp mit 11 im Betrieb befindlichen Hohöfen werden täglich im Durchschnitt 600 000 Kilo (12 000 Zentner) Roheisen fabriziert, welche bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 1300 Koks auf 1000 Eisen, 780 000 Kilo Koks zu ihrer Darstellung erfordern. Von dem Kohlenstoff dieser Koks gehen zwar etwa 4% in das Roheisen, allein diese 4% Kohlenstoff gehen bis auf wenige Zehntel Prozent schließlich doch wieder in die Luft, da sie bei der Umwandlung des Roheisens in Stahl und Schmiedeeisen wieder verbrannt werden. Die aus dem übrigen Kohlenstoff der Koks erzeugten kohlenoxydreichen Hohofengase werden unter den Dampfkesseln und anderen Apparaten vollständig verbrannt, so daß auf den Hohofenwerken, kann man sagen, nur Kohlensäure als Endprodukt erzeugt wird. Die obengenannten 780 000 Kilo Koks werden aus ca. 1 200 000 Kilo (24 000 Zentner) Kohlen gewonnen. Da auf den Kruppschen Kokerieen Nebenprodukte nicht gewonnen werden, sondern die bei der Verkokung erzeugten Gase ebenfalls wieder unter Dampfkesseln und auf anderen Feuerstätten verbrannt werden, so ist also der ganze in der Kokskohle enthaltene Kohlenstoff schließlich als Kohlensäure in die Luft gegangen. Die mittlere Zusammensetzung der verwendeten Kohle wird 85% Kohlenstoff ergeben, so daß also täglich von den Hohofenwerken und Kokerieen 1 000 000 Kilo Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrannt werden.

Außerdem werden von diesen Werken, von den Bergwerken und den 5 Kruppschen Seeschiffen, welche das spanische Erz von Bilbao nach den Hohofenwerken bringen, an 600 000 Kilo Kohlen täglich verbrannt.

Die Essener Gußstahlfabrik verbraucht täglich im Durchschnitt 17 500 cbm Leuchtgas; rechnet man für die Darstellung von 275 cbm Gas 100 Kilo Kohlen, so sind für die vorher genannte Gasmenge 6363 Kilo Kohlen notwendig. Da die hierbei entstehenden Koks an Ort und Stelle wieder verbrannt werden, so wird auch dieser gesamte Kohlenstoffgehalt in Kohlen-

säure umgewandelt. Auf den übrigen Essener Werkstätten werden überdies in mehreren Tausend verschiedenen Feuerungsanlagen ca. 1 000 000 Kilo Kohlen täglich verfeuert. Man hat von der Kohlensäure etwa $1\,^0/_0$ für Ruß, teerige Produkte rc. in Abzug zu bringen, während die verschlackten Kohlepartikel zum größten Teil wieder nutzbar gemacht werden durch sogenannte Braschenwäschen, in denen der verschlackte Koks von den eigentlichen Schlacken getrennt wird *).

Stellen wir die Kohlenmassen, welche täglich bei Krupp verbrannt werden, noch einmal übersichtlich zusammen, so wird die ungeheuere Kohlensäureproduktion dieses weltberühmten Etablissements recht schlagend hervortreten.

Die Kruppschen Werke verbrennen täglich

1 200 000	Kilo Kokskohlen mit $85\,^0/_0$ Kohlenstoff	=	1 000 000	Kilo Kohlenstoff.
600 000	Kilo Kohle auf Bergwerken, Hütten, Schiffen	=	500 000	" "
6 400	Kilo Kohle für Leuchtgas	=	5 400	" "
1 000 000	Kilo Kohle f. Gußstahlfabrik = 850 000 Kilo Kohlenstoff minus $1\,^0/_0$ für Ruß rc.	=	841 500	" "
		Summa	2 346 900	Kilo Kohlenstoff.

In runder Summe werden **täglich** 2 350 000 Kilo Kohlenstoff zu 8 616 500 Kilo Kohlensäure verbrannt, das macht im **Jahre** von 300 Arbeitstagen

705 000 000 Kilo Kohlenstoff oder 2 584 950 000 Kilo Kohlensäure, welche in die Atmosphäre zurückgelangen.

Wenn ein einziges deutsches Etablissement 700 Millionen Kilogramm Kohlenstoff als Kohlensäure jährlich in die Luft jagt, welche Zahlen wird erst England mit seinem Schornsteinwalde liefern und welche Zahlen die gesamte Industrie der Erde.

*) Nach authentischer Privatmitteilung.

Nur solche Berechnungen, wie sie soeben angestellt wurden, können einen deutlichen Begriff davon geben, welche Quantitäten Kohlensäure der Vegetation zur Verfügung stehen; sie verjagen den Zweifel und verringern die Verwunderung, welche die Angabe, daß die Luft nur 0,04—0,06 Prozent Kohlensäure enthält, hervorrufen könnte.

Die Möglichkeit, daß die Pflanze aus der gleichsam mit atmosphärischer Luft bedeutend verdünnten Kohlensäure diese letztere heranzieht, ist in den Gesetzen der Gasdiffusion gegeben. In einem Gasgemenge verbreiten sich die Moleküle unabhängig von ihrer Dichte. So ist es möglich, daß die spezifisch schwerere Kohlensäure sich immer wieder mit Leichtigkeit dahin bewegt, wo ein Verbrauch durch die Pflanzen stattgefunden hat. Denken wir uns eine Pflanze, die von der Luft umgeben wächst, so bewegen sich die in der Luft verbreiteten Kohlensäureteilchen aus allen Richtungen auf sie zu, den Verbrauch immer wieder ausgleichend. Die Pflanze ist also in den Stand gesetzt, nicht nur ein kleines Luftareal, sondern die fernsten Luftgebiete sich dienstbar zu machen.

Die Organe der Kohlensäureaufnahme.

Es besteht, wie wir eben gesehen haben, keine Schwierigkeit, daß die Pflanze ihren Kohlenstoffbedarf aus der atmosphärischen Luft gewinnen kann. Allein der Nachweis dieser Möglichkeit war nur eine notwendige Propädeutik. Das Wesentliche ist, nun zu erfahren, daß und in welcher Weise die Pflanze in aktiver Bethätigung ihrer lebendigen Eigenschaften von diesem Kohlenstoffkapital Besitz ergreift und es in Umlauf setzt. Es ist nicht die bloße Berührung zwischen Pflanze und Kohlensäure, welche irgend einen Effekt hervorrufen könnte. Um das Kohlensäurereservoir, welches ihr in der atmosphärischen Luft zur Verfügung steht, in der That für ihre Ernährung ausnutzen zu können, sind der Pflanze besondere Einrichtungen verliehen. Sie besitzt Organe, durch welche sie nicht nur die Kohlensäure der Luft aufnimmt, sondern in denen sich die chemischen Prozesse abspielen,

deren Endresultat die Produktion organischer, kohlenstoffhaltiger Substanz ist. Diese wichtigen Werkzeuge, die Organe der Ernährung, sind die grünen Blätter.

Die Leistungen der meisten tierischen Organe treten so zutage, daß schon die primitivste Beobachtung die besondere Aufgabe derselben meist erkennt. Bei den Pflanzen ist es nicht so in die Augen fallend, daß dieselben, wie die Tiere Organe, d. h. Glieder besitzen, welche bestimmten Lebensverrichtungen ausschließlich dienen. Kein Wunder, daß man in früheren Zeiten die Pflanzenorgane gar nicht beachtete und daß es lange dauerte, ehe man sich über diesen Punkt vollkommen klar wurde. War man in der Zeit der Anfänge physiologischer Beobachtung geneigt auch den Pflanzen ein Organ zuzuschreiben, so war es höchstens die Wurzel, welcher man diesen Rang einräumte. Mit den Blättern wußte man nichts anzufangen. Man nahm ihr Vorhandensein einfach als ein Faktum hin und machte sich darüber entweder gar keine oder nur kindliche Gedanken. So hat man wohl zu Zeiten die Blätter als Schutzorgane, welche die Früchte gegen äußere Einflüsse bewahren, sie gegen die sengenden Strahlen der Sonne beschützen sollten, betrachtet oder man hielt sie in größter Naivetät für einen bloßen Zierat und Schmuck.

Zwar hatte schon Marcello Malpighi aus Bologna, einer der Begründer der Pflanzenanatomie, im Jahre 1671 die Blätter als Ernährungsorgane bezeichnet, allein dieser ungemein wichtige Ausspruch war sehr bald der Vergessenheit anheimgefallen. Die Ansicht des Malpighi über die Bedeutung der Blätter war kein bloßer Einfall. Aus der sehr einfachen Beobachtung, daß Pflanzen, denen man ihre Keimblätter nimmt, zu Grunde gehen, zog er den Schluß, daß jene Keimblätter die Ernährung der Knospen besorgten und daß man überhaupt alle Pflanzenblätter als Ernährungsorgane zu betrachten habe. Diese Überzeugung bildet die Basis seiner Ernährungstheorie, welche er dahin zusammenfaßte, daß der durch die Wurzeln aufgenommene Nahrungssaft den Blättern zugeführt werde und durch die Kraft der Sonnen-

strahlen erst die Umwandlungen erfahre, welche ihn zur Ernährung der Pflanzenorgane tauglich mache. Das war im Gegensatz zu der aristotelischen Ernährungslehre, welche damals herrschte, eine Theorie, deren Bedeutung nicht nur in ihrer Wissenschaftlichkeit, sondern vor allem darin liegt, daß sie die Wahrheit sehr nahe streifte. Malpighi hatte allerdings noch keine Ahnung von der Thätigkeit der Blätter, von ihrer Fähigkeit Kohlensäure aufzunehmen und zu zersetzen. Für diese weittragende Entdeckung war die Zeit noch nicht gediehen. Aber es waren doch die Blätter als Ernährungsorgane bestimmt bezeichnet. Das Vorhandensein derselben hatte jetzt einen Sinn. Man beachtete jedoch die Lehre dieses bedeutenden Forschers nicht. Bald war sie ganz vergessen und 100 Jahre gingen darüber hin, ehe man aufs neue die Bedeutung der Blätter wiederentdeckte. Damit war denn endlich für die Ernährungslehre eine feste Grundlage gewonnen. Aber nochmals kam dann in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts eine Zeit, wo die Fähigkeit der Unterscheidung richtiger Thatsachen und falscher Ideeen ganz abhanden gekommen war. Die Naturphilosophie hatte in den dreißiger Jahren an die Stelle besonnener Forschung eine träumerische Spekulation gesetzt und diese glaubte das Recht zu haben festbegründete Thatsachen, welche ihr nicht konvenierten, aus dem Wege zu räumen. So wurde auch die geradezu glänzende Entdeckung der Kohlensäurezersetzung durch die Blätter von den naturphilosophischen Gelehrten nicht nur nicht beachtet, sondern geradezu geleugnet. Und so dauerte es denn bis in die sechziger Jahre hinein, ehe man über die Bedeutung der Blätter vollkommen ins reine kam. Die Namen Liebig und Sachs bezeichnen diese wichtige Spanne in der Geschichte der Wissenschaft.

Mußte sogar in der Wissenschaft eine so fundamentale Thatsache wie die Ernährungsthätigkeit der Blätter sich förmlich durchkämpfen, ehe sie in ihren Bestand aufgenommen wurde, so ist es in einer Darstellung für weitere Kreise gewiß auch

heute nicht überflüssig so nachdrücklich auf diesen Punkt hinzuweisen.

Die grünen Blätter besorgen bei allen Pflanzen die wichtigste Aufgabe der Ernährung. Sie nehmen die Kohlensäure der Luft auf und zersetzen sie, und zwar sind es die grünen Blätter ausschließlich, welche diese Verrichtungen vollführen. Dies wird schon an dieser Stelle betont, weil man noch häufig, besonders in populären botanischen Büchern, die falsche Ansicht vorgetragen findet, daß die Pflanzen durch die Wurzeln Kohlensäure in Wasser gelöst aufnehmen. Diese aus dem Anfang unseres Jahrhunderts noch hier und da zurückgebliebene Meinung ist unrichtig. Die Pflanze nimmt ganz allein durch ihre Blätter alle Kohlensäure auf, deren sie zur Umbildung in organische Substanz bedarf.

Um aber einen Einblick in die Ernährungsthätigkeit der Blätter gewinnen zu können, ist es durchaus notwendig, sich mit dem Bau dieses wichtigen Organes bekannt zu machen. Es wird zwar niemand sagen, daß ihm ein Blatt etwas Unbekanntes sei, vielmehr rechnet jedermann ein Blatt zu den Dingen, deren Betrachtung nichts neues darbietet. Das ist nun ein Irrtum, da sich vieles Wichtige an den Blättern dem gewöhnlichen Blicke verbirgt und manches Problem im Bau des Blattes gelöst ist, über das man unbemerkt hinwegsieht. Eine Eigenschaft kann aber auch den Blicken, welche nur unaufmerksam an den Pflanzen vorüberstreifen, nicht entgehen: die Blätter sind grün. Es kann wohl nichts, was die Form anbetrifft, Verschiedeneres geben, als ein Eichenblatt und das bandförmige Blatt des Weizens; aber sie besitzen doch beide die grüne Farbe.

Hunderte von Blättern kann man betrachten, man findet immer neue Gestalten, welche die Leistungsfähigkeit der Natur an Formenschöpfungen demonstrieren, aber an jedem Blatt findet man die grüne Färbung wieder. Das ist so bekannt, daß es selbstverständlich erscheint, daß man es kaum noch beachtet. Man würde sich aber in einem der größten Irrtümer befinden, wenn

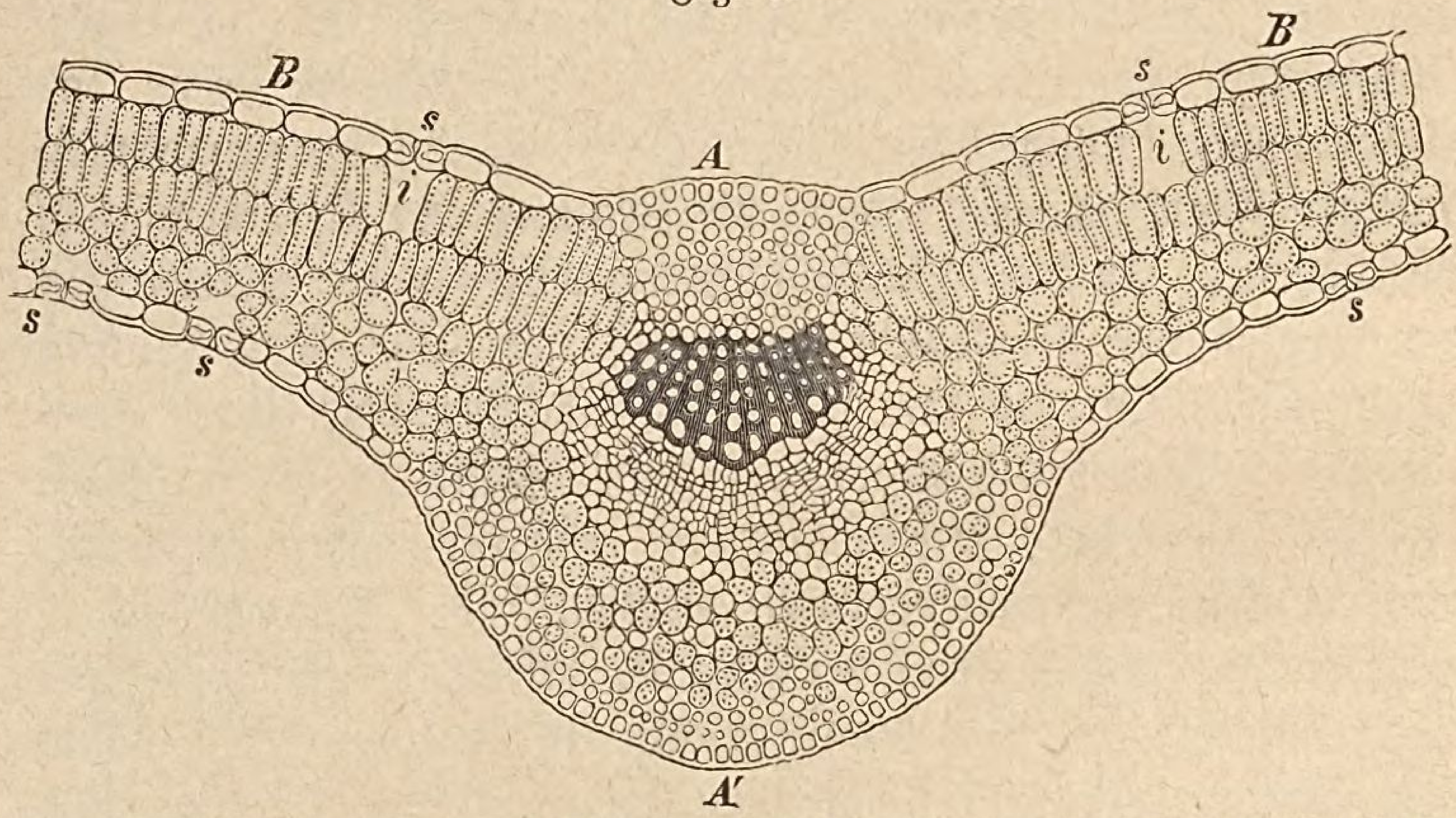
man die grüne Farbe der Blätter als etwas Unwichtiges oder Zufälliges ansähe. Denn es ist eben die grüne Farbe, welche die Blätter erst zu Ernährungsorganen macht. Dies ist der springende Punkt, und aus diesem Grunde ist die Aufmerksamkeit vor allem darauf zu richten, daß die Blätter grün sind.

Die grüne Farbe der Blätter ist keine bloße äußere Bemalung, ihre Ursache ist eine Substanz, welche sich in der Form grüner Körnchen in großer Menge in den Zellen des Blattes befindet. Diese Körnchen heißen Chlorophyll und in diesem Chlorophyll gipfeln die Eigenschaften des Blattes. Nur das Chlorophyll befähigt die Blätter, welche die Pflanze in mannichfaltiger Form erzeugt, dazu, die Leistung der Ernährung zu übernehmen. In den chlorophyllhaltigen Zellen der Blätter geht der Prozeß der Kohlensäurezersetzung vor sich. Das Chlorophyll ist der Ort, an dem die Affinitätsäußerungen ihren Ausgleich suchen, wo die Atome des Kohlenstoffs aus ihrem alten Verbande getrennt, mit Wasserstoff und Sauerstoff zu neuen Verbindungen zusammengekettet werden. Im Chlorophyllkorn entsteht die zum Aufbau der Organe bestimmte kohlenstoffhaltige Substanz aus den anorganischen Generatoren Kohlensäure und Wasser. Damit sei nur vorläufig auf die fundamentale Bedeutung des Chlorophylls hingewiesen, denn das Gefühl dieser Bedeutung ist der Wegweiser für die richtige wissenschaftliche Auffassung des Blattes. Das Blatt ist der Träger des Chlorophylls. Das hat man sich stets zu vergegenwärtigen, um den Blattapparat verstehen und die Angemessenheit der Form für seine Leistung begreifen zu können.

Gehen wir nun etwas näher auf die Gestaltverhältnisse des Blattes ein. Es wird sich dabei ergeben, daß die Form eines Blattes nicht nur zufällig so ist, wie man sie findet, sondern daß die Blattgestalt im vollen Einklang mit dessen Leistung sich befindet. Das Blatt könnte nicht jede beliebige andere Form besitzen, sondern es muß so aussehen, wie es aussieht, sonst würde es dem Zwecke, für den es bestimmt ist, nicht dienen

können. Das eine wird ganz besonders hervorleuchten, daß nämlich die ganze Gestalt jedes Blattes darauf berechnet ist, die Thätigkeit des Chlorophylls zur vollen Entfaltung zu bringen. Um sich recht klar über die Bedeutung der Blätter zu werden, reicht es nicht aus, ein Blatt nur äußerlich genau zu betrachten, sondern es ist selbstverständlich, beim Studium des Blattes die mikroskopisch-anatomische Methode nicht zu umgehen. Schon

Fig. 1.



Durchschnitt durch den mittleren Teil des Blattes der Syringe (Syringa vulgaris). AA' Mittlerer Blattnerv. B. Blattspreite. s Spaltöffnungen. i Atemhöhlen.

deshalb nicht, weil sich gerade über das wichtigste im Blatte, über das Chlorophyll, ohne das Mikroskop nichts erfahren läßt. Es wird deshalb die beste Einleitung in die Kenntnis des Blattes die Betrachtung eines mikroskopischen Blattdurchschnittes bilden, der in unserer Fig. 1 abgebildet ist.

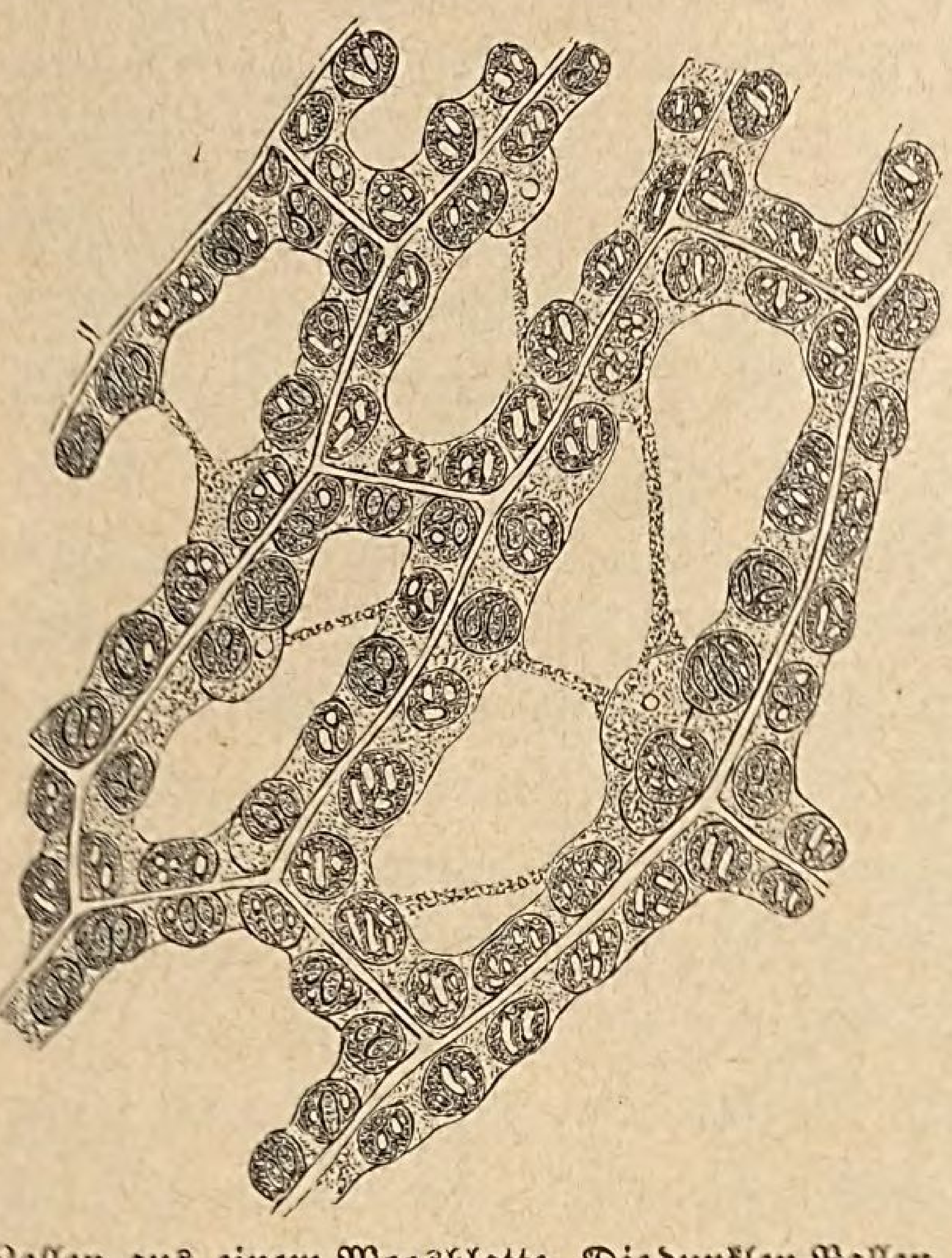
Das Bild giebt die Ansicht eines Syringenblattes, wenn man senkrecht zur breiten Blattfläche und zwar quer durch den starken Hauptnerven, der das Blatt von der Basis zur Spitze durchläuft, einen Durchschnitt macht. Die Chlorophyllkörner sind als Punkte in den Zellen angedeutet und das mikroskopische Bild giebt dadurch zunächst einen Aufschluß über die Verteilung

des Chlorophylls im Blatt. Mit Leichtigkeit läßt sich erkennen, daß nicht alle Zellen des Blattes Chlorophyll enthalten.

Ergänzt man sich aber beiderseits die wegen Raummangel in der Zeichnung fehlenden Randpartieen des Blattes, so nimmt das chlorophyllhaltige Gewebe doch das größte Areal ein. Nur wenige Teile des Blattes entbehren des Chlorophylls. In dieser Beziehung fällt gleich der mittlere Teil des Blattes, die Umgebung des Blattnerven auf. Auch in den Zellen der Oberhaut, welche den Blattdurchschnitt oben und unten begrenzt, fehlt das Chlorophyll vollständig. Das ganze übrige Gewebe der Blattfläche ist mit Chlorophyll versehen, und nur in diesem grünen Gewebe findet die Ernährungsthätigkeit, die Zersetzung der Kohlensäure statt. Das Chlorophyll selbst besitzt die Form kleiner gerundeter Körnchen und findet sich in dieser Gestalt nicht nur im Syringenblatte, sondern in allen grünen Teilen, welche wir an den verschiedensten Pflanzen von den niedersten Algen und Moosen herauf bis zu den Bäumen bemerken. Stets hat das Chlorophyll die Gestalt von Körnchen, deren Größe bei verschiedenen Pflanzen zwar etwas verschieden sein kann, nie aber beträchtlich ist. Die Chlorophyllkörner sind immer sehr kleine Gebilde. Dafür finden sie sich in größerer Zahl in der Zelle, und ein ganzes Blatt enthält Billionen Chlorophyllkörner. Die Chlorophyllkörner liegen in den Blattzellen nicht lose und ohne Zusammenhang mit dem Zellinhalte, sondern sind diesem in ganz bestimmter Weise eingefügt. Wie bekannt, ist die Pflanzenzelle nicht nur ein durch die Zellhaut umgrenzter leerer Raum, sondern die Zellmembran umschließt den lebendigen Protoplasmaleib, der mit dem Zellkern der eigentliche Träger des Lebens ist. Ausführlich auf die Morphologie der Zelle einzugehen, würde hier zu weit führen. Es genügt, die allgemein bekannten wesentlichen Punkte dem Leser ins Gedächtnis zurückzurufen. Ein Teil des Protoplasmas bedeckt die Innenseite der Zellwand, wie eine Tapete ein Zimmer auskleidet. Man nennt diese Partie des Protoplasma eben deshalb den Wandbeleg. In dem Wandbeleg

der Zelle sind die Chlorophyllkörner eingebettet und erhalten dadurch ihre bestimmte Lage in der Zelle. Sie liegen der Zellwand an und bedecken sie in mehr oder weniger dichter Nebeneinanderlagerung. Zur Veranschaulichung möge die Abbildung einiger chlorophyllhaltiger Zellen (Fig. 2) bei starker mikroskopischer Vergrößerung dienen, welche über die räumlichen Verhältnisse die nötige Aufklärung giebt.

Fig. 2.



Zellen aus einem Moosblatte. Die dunklen Ballen, welche in dem Protoplasma liegen, sind Chlorophyllkörner. (Nach Sachs).

Sehr bemerkenswert ist, daß die Chlorophyllkörner die Fähigkeit besitzen, sich zu vergrößern, zu wachsen und daß sie dann imstande sind, sich zu teilen. Auf die Weise vermehrt sich die Zahl der Chlorophyllkörner in den Zellen aller grünen Pflanzenteile. Ein Chlorophyllkorn, welches zur Teilung schreitet, schnürt sich allmählich in der Mitte seines Körpers ein. Es nimmt die Form eines Bisquits an, bis mit fortschreitender und endlich vollendeter Teilung der vollständige Zerfall in zwei Körner beendet ist.

Es ist hier vielleicht der geeignetste Ort, ein paar Bemerkungen über die substantiellen Eigenschaften des Chlorophylls anzuschließen. Wie das Protoplasma der Zelle sind auch die Chlorophyllkörner von weicher Konsistenz. Immerhin besitzen sie aber eine größere Resistenz, wie das eigentliche Protoplasma der Zelle, zu dessen weichflüssiger Beschaffenheit sie den Gegensatz soliderer Körperchen bilden. Seiner chemischen Natur nach

ist das Chlorophyll eine protoplasma-ähnliche Substanz, das Körnchen besteht im wesentlichen aus einer eiweißartigen Verbindung. In inniger Vereinigung mit der Substanz des Kornes befindet sich der grüne Farbstoff. Es gelingt aber sehr leicht durch verschiedene Lösungsmittel, z. B. Alkohol oder Äther, den Farbstoff auszuziehen und so von dem Chlorophyllkorn zu trennen. Legt man grüne Blätter in Alkohol, so erhält man eine dunkelgrüne Flüssigkeit, welche, wenn auffallendes Licht sie bescheint, eine prachtvoll rote Fluorescenz zeigt. Die mit Alkohol behandelten Blätter selbst sind farblos geworden und unter dem Mikroskop kann man sich überzeugen, daß die Chlorophyllkörner ihren Farbstoff an den Alkohol vollständig abgegeben haben. Im übrigen ist die Form der Chlorophyllkörner unverändert geblieben und an Masse haben sie nicht merklich abgenommen. Es ist dies ein Beweis, daß der Farbstoff nur in sehr geringer Menge in jedem Chlorophyllkorn enthalten ist.

Kehren wir nach dieser Abschweifung zu unserem Blattdurchschnitt (Fig. 1) zurück. Schon die flüchtige Anschauung muß den Eindruck hervorbringen, daß das Zellgewebe des Blattes kein ungeordnetes Chaos durcheinandergewürfelter Zellen ist. Es macht sich eine ausgeprägte Architektur in unserem mikroskopischen Schnitt bemerkbar. Da derselbe in senkrechter Richtung zur Symmetrieebene des Blattes geführt wurde, so ist es selbstverständlich, daß die Symmetrie des Syringenblattes auch in der anatomischen Abbildung hervortritt: an den durchschnittenen Mittelnerven schließt sich jederseits eine Blattflächenhälfte an, welche einander gleichen wie Spiegelbilder.

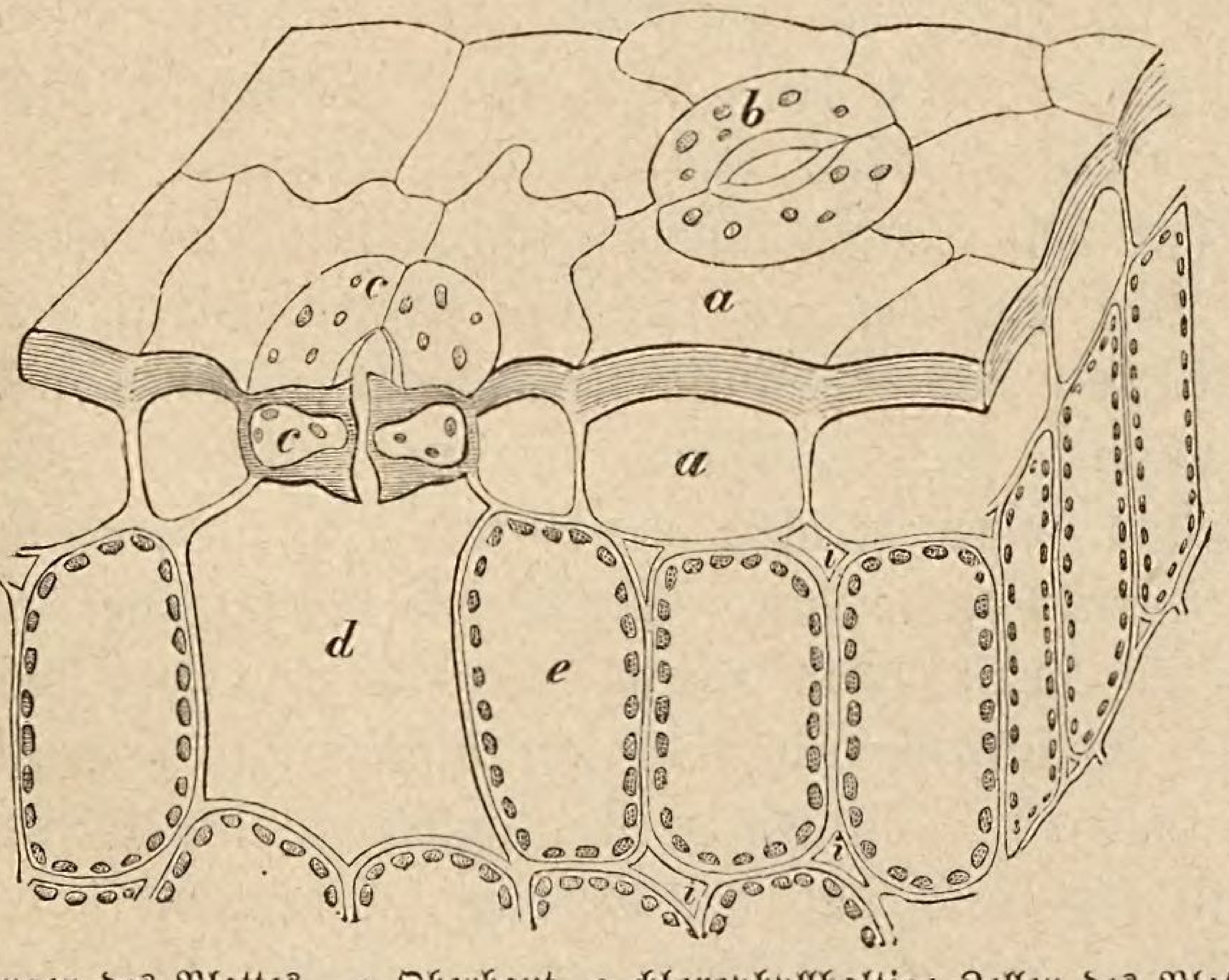
Es ist aber nicht diese Symmetrie allein, welche an einem Blatt, das man zur Hand nimmt, auffällt. Ebenso in die Augen fallend wie die Bilateralität des Blattes ist etwas anderes. Das Blatt besitzt zwei Seiten, eine Ober- und eine Unterseite, und zwar ist die Unterseite in der Regel anders organisiert als die Oberseite. Schon äußerlich ist das gewöhnlich zu bemerken. Die Unterseite pflegt eine andere Färbung zu besitzen, gewöhnlich ist

die Blattunterseite heller grün als die obere. Oft ist nur die Unterseite des Blattes behart oder es machen sich andere gröbere Unterschiede auch dem unbewaffneten Auge bemerkbar. Ihren lebhaften Ausdruck findet diese Dorsiventralität denn auch in der anatomischen Struktur. Betrachten wir darauf hin unsere Abbildung.

Die beiden Oberhautschichten lassen, obgleich die eine die Oberseite, die andere die Unterseite des Blattes überdeckt, keine merklichen Differenzen erkennen. Dagegen springt die Verschiedenheit der Form und Anordnung der chlorophyllhaltigen Zellen sofort ins Auge. Teilen wir durch eine der Oberhaut parallel laufende Linie unseren Blattdurchschnitt in eine obere und untere Hälfte, so treten die folgenden Unterschiede deutlich hervor. Die unter der oberen Blattepidermis liegenden Zellen sind langgestreckt und in regelmäßige Reihen nebeneinander gestellt. Sie stehen alle so, daß ihre größten Durchmesser parallel und senkrecht gerichtet sind; die Zellen stehen aufrecht auf ihrer kleineren Endfläche. Eine solche Zellenschicht erhält dadurch das regelmäßige Aussehen einer Palissadenwand, weshalb man den Namen Palissadenparenchym auf das Gewebe der Blattoberseite übertragen hat. Durch das enge Aneinanderschließen der Zellen bleiben nur wenige und kleinere Intercellularräume im Gewebe der Blattoberseite übrig. Ein ganz anderes Bild erblickt man im Zellgewebe der Blattunterseite. Die Zellen haben eine kugelige, häufig ganz unregelmäßige Form, und was besonders auffällig ist, sie schließen, wie dies schon durch ihre Gestalt bedingt ist, nicht dicht aneinander, sondern lassen zahlreiche, oft große Intercellularräume zwischen sich. Bildet das Palissadengewebe eine geschlossene Zellenlage, so ist dagegen das untere Blattgewebe durchbrochen und locker. Aus diesem Grunde erscheint gewöhnlich die Blattunterseite dem bloßen Auge schon heller gefärbt als die Oberseite, da an der Unterseite viel weniger chlorophyllhaltige Zellen liegen, dagegen viel lufthaltige Räume vorhanden sind.

Die Intercellularräume sind nämlich nicht leer, sondern mit Luft erfüllt. Sie bilden ein zusammenhängendes System von Gängen, in denen die Luft zirkuliert, so daß das Innere des Blattes auf das Ausgiebigste durchlüftet ist. Um der atmosphärischen Luft Eintritt in das Blatt zu verschaffen, befinden sich an der Oberfläche desselben Eingänge. Durch sie dringt die äußere Luft in das System der Intercellulargänge ein. Die Eingänge für die Luft sind die Spaltöffnungen der Blätter,

Fig. 3.



Spaltöffnungen des Blattes. a Oberhaut. e chlorophyllhaltige Zellen des Blattes. b u. c Spaltöffnungen von oben und im Durchschnitt gesehen. d Atemhöhle. i Intercellularräume.

welche in ungeheurer Menge zwischen den Zellen der Oberhaut eingestreut liegen, von denen man auch auf dem Blattdurchschnitt Fig. 1 einige erblickt. Eine Spaltöffnung besteht aus zwei Zellen von eigentümlicher halbmondförmiger Gestalt. Man bezeichnet die beiden Zellen als Schließzellen und ihre Lage zu einander ist eine derartige, daß sie eine schmale Spalte zwischen sich lassen. Die ganz eigenartige Form der Spaltöffnungen läßt sich schwer anschaulich beschreiben und wird besser durch ein Bild verdeutlicht. In unserer Fig. 3 ist ein Stück von der Oberseite eines Blattes perspektivisch gezeichnet, wie es das Auge

bei starker Vergrößerung etwa erblicken würde. Zwischen den Oberhautzellen, die mit (a) bezeichnet sind, liegen zwei Spaltöffnungen b u. c. Die eine derselben (b) erblickt man von oben und erkennt die beiden halbmondförmigen Zellen, welche sich ihre Konkavitäten zuwenden und dadurch einen linsenförmigen Spalt bilden. Die Spaltöffnung c ist durchschnitten und ermöglicht die Kombination der Durchschnittsansicht mit dem Aufsichtsbilde. Man erkennt durch diesen Vergleich, daß die Form der einzelnen Schließzelle die eines an beiden Enden abgerundeten, gebogenen Cylinders ist. Die Spalte mündet stets in einen Intercellularraum, der sich durch ganz besondere Ausdehnung auszeichnet. Er heißt die Atemhöhle, und aus ihm verbreitet sich die Luft in die engen Intercellularräume zwischen den chlorophyllhaltigen Zellen. Viel wichtiger als manche Besonderheiten der Form, welche noch an den Spaltöffnungen wahrzunehmen wären, ist ihr Vermögen, sich zu öffnen und zu schließen. Die beiden Schließzellen können nämlich ihre Form etwas ändern; sie können sich mit ihren Konkavitäten nähern und voneinander entfernen, wodurch die Spalte bald verengert, bald erweitert wird. So lassen die Spaltöffnungen nicht nur die Luft in das Blatt ein, sondern, was von ungeheurer Wichtigkeit ist, der Luftaustausch wird nach dem Bedürfnis der Pflanze auf das feinste durch den Mechanismus der Spaltöffnungen reguliert. Um dies ganze System der Durchlüftung im wahren Lichte seiner Bedeutung zu erblicken, genügt die Überlegung, daß dem chlorophyllhaltigen Parenchym für die Ernährung Kohlensäure zugeführt werden muß. Die Spaltöffnungen ermöglichen das Eindringen der kohlensäurehaltigen Atmosphäre in das Blattinnere. In alle Intercellularen fließt die kohlensäurehaltige Luft hinein und das chlorophyllhaltige Gewebe umspülend, ist die Gegenwart der Kohlensäure an allen Orten ihres Verbrauchs gesichert.

Auf die Mechanik des Öffnens und Schließens der Spaltöffnungen wird in einem anderen Kapitel zurückgegriffen werden. Augenblicklich genügt es, von den Spaltöffnungen, als einer wich-

tigen Ausrüstung der Blätter Notiz genommen zu haben. Beschließen wir damit vorläufig die mikroskopisch-anatomische Betrachtung des Blattes. Das chlorophyllhaltige Grundgewebe mit seinem System von Intercellularräumen, die Oberhaut mit ihren Spaltöffnungen und die Blattnerven bauen das Blattorgan auf.

Mit den Blattnerven müssen wir uns noch etwas eingehender beschäftigen, um auch ihrer Bedeutung inne zu werden. Vorher aber muß dem Leser eine neue wichtige Thatsache mitgeteilt werden. Die Zersetzung der Kohlensäure und die Produktion kohlenstoffhaltiger Substanz findet im Chlorophyllkorn nur unter der Mitwirkung des Sonnenlichtes statt. Nur wenn die direkten Strahlen der Sonne oder wenigstens helles reflektiertes Tageslicht die grünen Blätter beleuchtet, nur dann treten Kohlensäure und Wasser in chemische Wechselwirkung und bilden organische Substanz. Ohne Lichtstrahlen wird keine Pflanzensubstanz erzeugt, ohne die Lichtstrahlen kann selbst die chlorophyllhaltige und von kohlensäurehaltiger Luft umgebene Pflanze ihre Ernährung nicht beginnen. Das Licht der Sonne ist der Anstoß, der das Getriebe der Pflanzenernährung in den Gang setzt. Die Mitwirkung des Lichtes bei dem chemischen Prozeß, den die Erzeugung der Pflanzensubstanz darstellt, ist freilich kein Ausnahmefall. Zahlreiche andere chemische Prozesse werden, wie jedermann weiß, durch äußere Kräfte, durch mechanischen Druck, durch Wärme, durch das Licht unterstützt. Der Jodstickstoff explodiert durch die leise Berührung mit einer Federfahne. Hier ist ein mechanischer Druck von äußerst geringer Intensität hinreichend, um die chemischen Kräfte anzuregen. Allgemein bekannt ist es, daß die Wärme die Auslösung und den Verlauf chemischer Prozesse unterstützt, und ebenso giebt es analoge Beispiele für die chemische Leistung der Lichtstrahlen. Die große Industrie der photographischen Künste beruht ja auf solchen Lichtwirkungen. Die Mitwirkung der Lichtstrahlen bei der Kohlensäurezersetzung im Chlorophyll nimmt aber die Konkurrenz mit allen ähnlichen

Erscheinungen auf und erscheint als die wunderbarste und großartigste. Wunderbar, — weil es uns nicht gelingt, in unseren chemischen Laboratorien mit allem chemischem Apparat diesen Prozeß nachzuahmen und uns auch jede Vorstellung über seinen Verlauf im einzelnen fehlt, — großartig in der Tragweite für die Erhaltung alles Lebendigen auf der Erde.

Wenden wir diese neue Kenntnis bei der weiteren Betrachtung der grünen Ernährungsorgane an. Ohne Licht ruht die Thätigkeit des Chlorophylls. Das Blatt muß also dem vollen Lichte zugänglich sein, um als Ernährungsorgan funktionieren zu können. Wir brauchen nur ein Blatt zur Hand zu nehmen, um zu sehen, wie der Blattbau diesem Ziel entspricht.

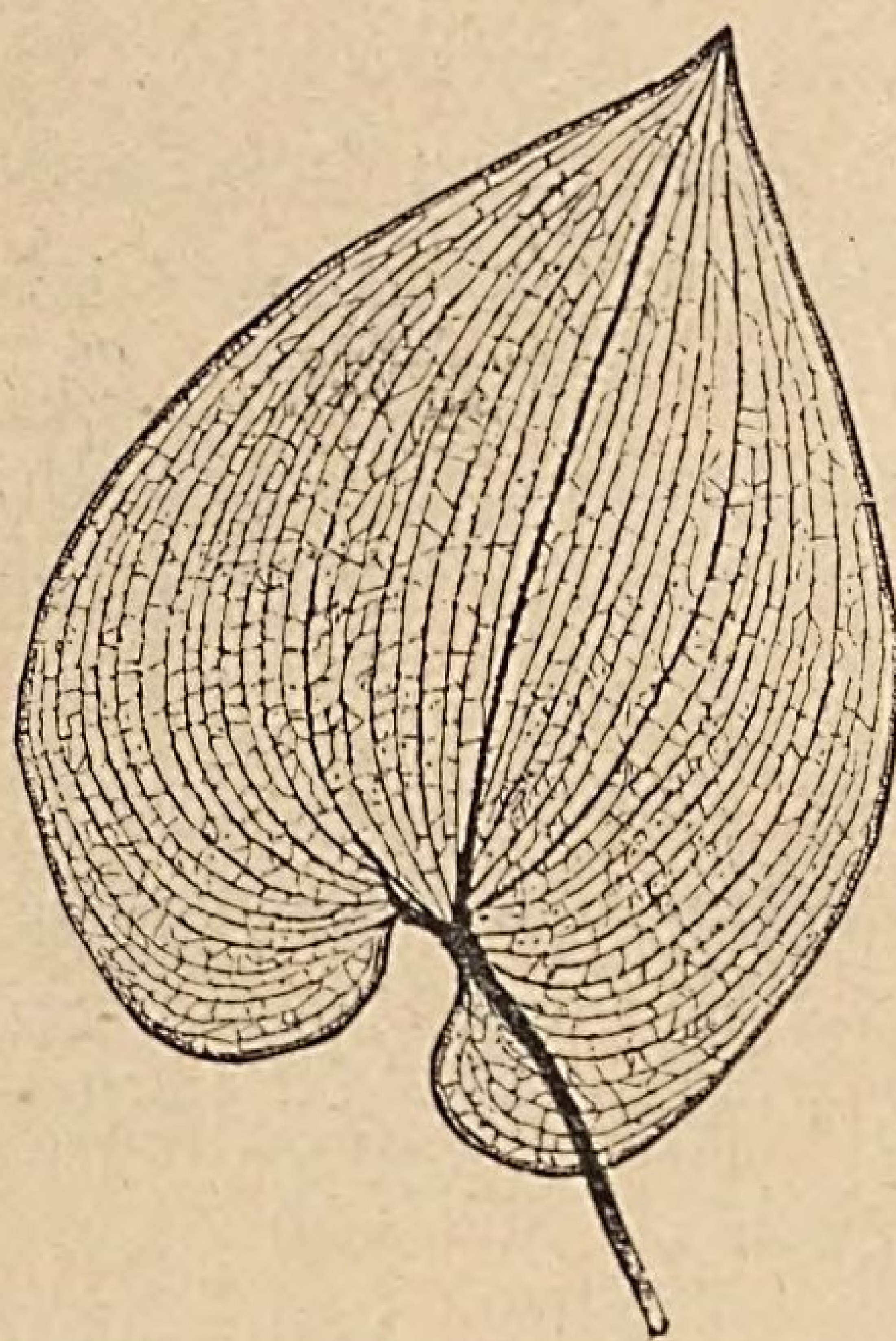
Die grüne Blattfläche ist eine äußerst dünne Lamelle und besitzt bei den meisten Blättern nur eine Dicke von einigen zehntel Millimetern. Wäre das Blatt ein massiges Organ, so würden die Lichtstrahlen dasselbe nicht durchleuchten können, nur ein Teil des Chlorophylls würde dann von den Lichtstrahlen erreicht werden und könnte in Wirkung treten. Damit das Chlorophyll vom Lichte sicher erreicht werde, bestehen die Blätter nur aus wenigen Schichten chlorophyllhaltiger Zellen und durch die Feinheit der Blattlamelle ist die genügende Durchleuchtung des Chlorophylls gesichert. Wir haben oben gesehen, welche Leistungen die Blätter in der Erzeugung organischer Substanz, z. B. bei einer Eiche zu übernehmen haben, wie viele Zentner Trockensubstanz gebildet werden. Sollen diese Anforderungen von einer so überaus dünnen chlorophyllhaltigen Lamelle erfüllt werden, so muß dieselbe dafür eine entsprechende Ausdehnung in die Fläche besitzen, und in der That finden wir ja auch, daß die meisten Blätter eine breite Fläche darstellen. So sehen wir denn in wie innigem Zusammenhange die Gestalt der Blätter mit ihrer Aufgabe steht, wie zweckmäßig diese Form ist, damit das Licht seine Wirkung ausüben, das Chlorophyll zur Thätigkeit gelangen kann. Durch die Zartheit der Blattlamelle allein wären aber dem Chlorophyll noch nicht die günstigsten Bedin-

gungen der Beleuchtung gesichert. Im Gegenteil. Wäre die aus zartem, weichem Zellgewebe bestehende Blattspreite ohne weiteres durch einen Stiel am Zweige befestigt, so würden die Pflanzen ein trauriges Aussehen haben. Schlaff und zusammengefaltet würden die Blätter vom Baume herabhängen und von einer vollständigen Durchleuchtung könnte keine Rede sein. Man pflegt bei Naturobjekten, die einem täglich begegnen, kaum zu überlegen, welche Probleme oft in ihnen gelöst sind. Gewiß sind die Schwierigkeiten, welche für die Konstruktion des Blattes zu überwinden sind, ebenso einleuchtend, wie die Mittel einfach sind, welche die Natur zu deren Lösung benutzt. Die Aufgabe, die große, sehr dünne Blattfläche, die an sich keinen festen Halt haben würde, flach auszuspannen, ist durch Vereinigung derselben mit den Blattrippen, den sogenannten „Blattnerven" gelöst. Der Name Blattnerv giebt leicht zu irrtümlichen Vorstellungen Anlaß. Es mag daher eingeschaltet werden, daß die Blattnerven mit den Nerven der Tiere nichts gemein haben. Die Pflanze besitzt überhaupt nichts den Nerven der Tiere Vergleichbares. Die sogenannten Blattnerven sind ein Gefäßsystem, welches sich nach allen Richtungen im Blatt verzweigt und einmal dem Zwecke dient, das Blatt mit Wasser zu versorgen. Im Gegensatz zum weichen Blattparenchym sind diese Blattgefäßbündel fest und widerstandsfähig. Sie sind deshalb ein geeignetes Mittel zugleich dem Blatt die nötige Festigkeit zu verleihen. Wie man die weiche Leinwand, die ein Zelt bilden soll, durch Vereinigung mit Holz- oder Eisenstäben in eine bestimmte Form bringt und zu breiten Flächen ausspannt, so wird das weiche Blattgewebe durch die festen Blattrippen ausgespannt und dadurch das Chlorophyll dem Lichte zugänglich. Natürlich ist dies nur ein trivialer Vergleich. Die Nervatur ist mit dem Blattparenchym in organischer Verbindung. Die Blattrippen bestehen auch nicht wie ein Eisenstab aus homogenem hartem Material. Ihre Biegungsfestigkeit ist durch die Spannung bedingt, welche durch ihre Verbindung mit dem parenchymatischen Gewebe und der Epidermis erzeugt wird.

Die Blattnerven haben das Bestreben, sich durch Wachstum zu verlängern und dadurch spannen sie das grüne Gewebe, welches hinter diesem Streben der Rippen zurückbleibt, straff aus.

Erst in neuester Zeit ist die mechanische Bedeutung der Blattnerven hervorgehoben worden.*) Die wasserleitende Funktion des Gefäßsystems war lange bekannt, auf die mechanische Bedeutung der Blattnervatur hatte man, obgleich schon jahrhundertelang gerade ihre eigentümliche und wechselnde Anordnung betrachtet wurde, nicht geachtet. Auch der Nichtbotaniker pflegt ja am Blatt besonders gern die Nervatur zu betrachten, ohne doch etwas weiteres mit seinen Wahrnehmungen anfangen zu können. Das Rätsel, welches dies Rippennetz aufzugeben scheint, wird durch einige Beispiele seiner mechanischen Leistung aufgeklärt werden und dadurch das Interesse an dem kunstvollen Bau des Blattes sich ohne Zweifel erhöhen. Zur Erläuterung bedienen wir uns einiger Abbildungen, welche nach Naturselbstdrucken kopiert, das Bild der Blattnervatur bis auf das kleinste Äderchen genau wiedergeben. Mit dem Einfacheren beginnend, betrachten wir zuerst das Blatt einer monokotylischen Pflanze.

Fig. 4.



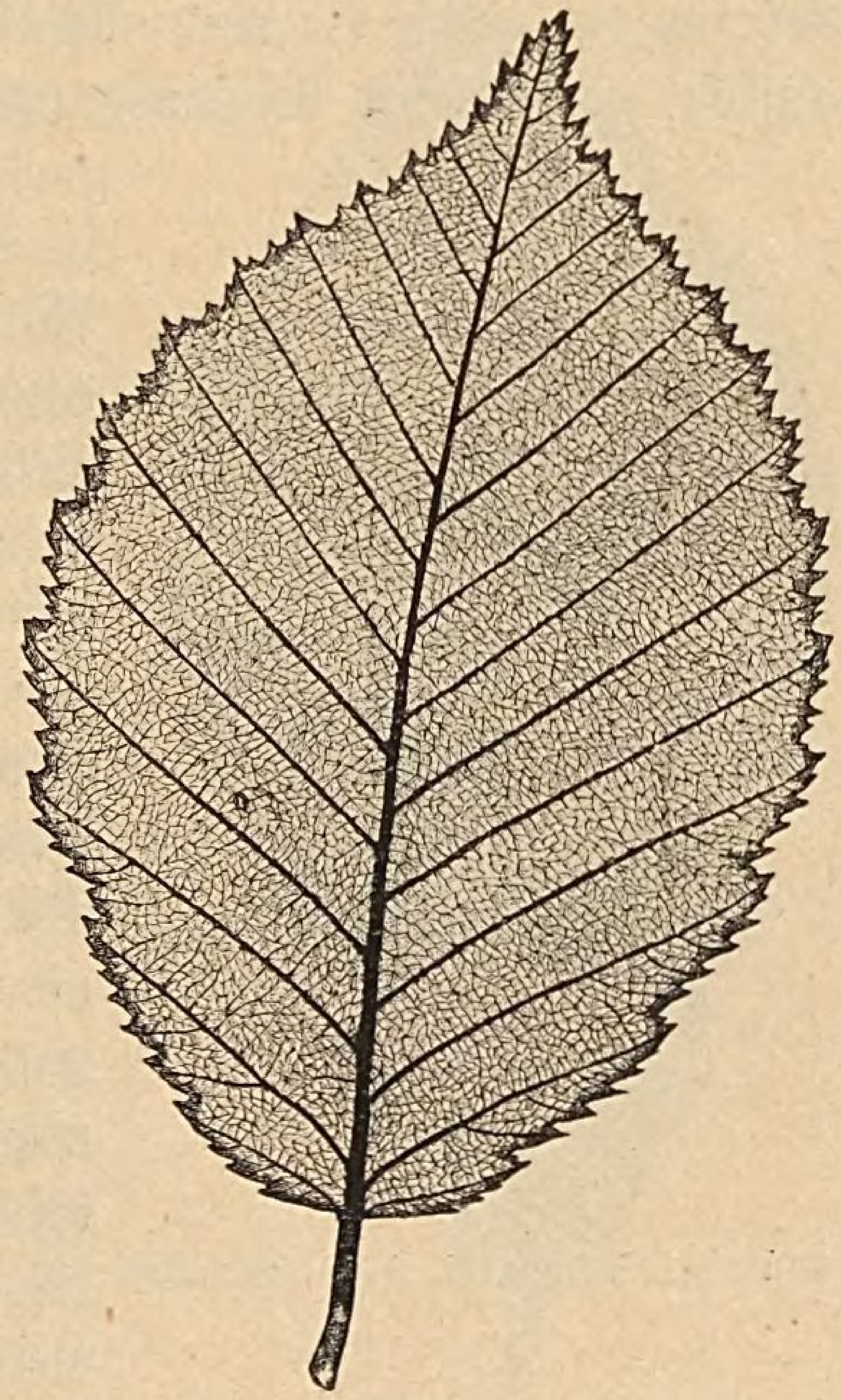
Blatt von Majanthemum bifolium, einem häufig bei uns wachsenden Waldpflänzchen.

Die Monokotylen besitzen nicht nur eine größere Einfachheit, sondern auch eine auffallende Übereinstimmung in der Anordnung ihrer Blattnerven. Monokotylische Blätter sind in der Regel parallelnervig wie das Blatt in unserer Fig. 4. Die Nerven laufen in gleichsinniger Richtung von der Basis des

*) Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 1882. Vierte Vorlesung.

Blattes bis zur Spitze, wo sie sich wieder vereinigen. An der Art dieser Blattnervatur erkennt man die monokotylen Pflanzen ganz allgemein und besitzt in ihr eines der Unterscheidungsmerkmale von den Dikotyledonen, deren Blätter das jedem bekannte komplizierter verzweigte Adernetz besitzen, wie man es z. B. an einem Lindenblatte wahrnimmt.

Fig. 5.



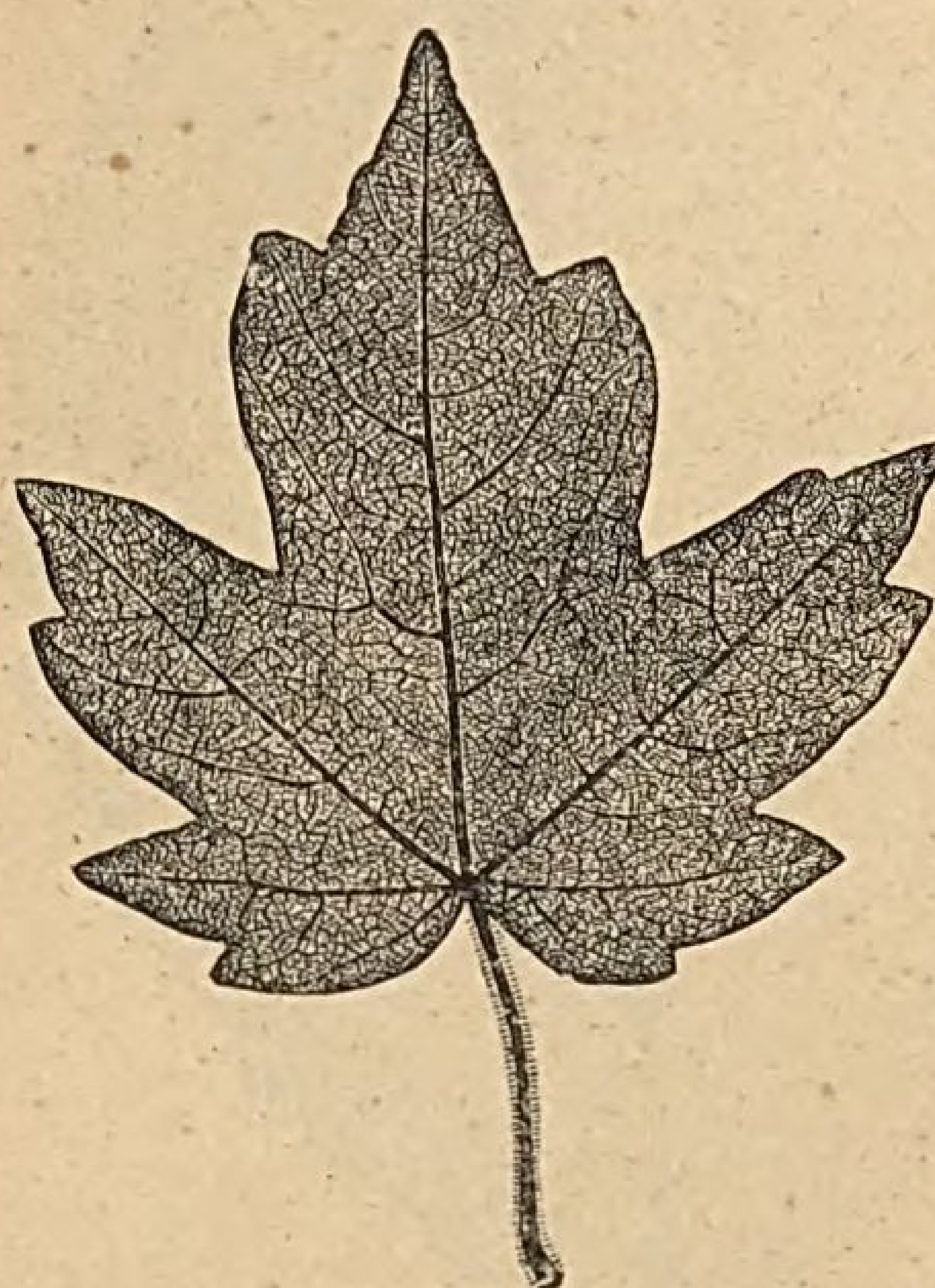
Blatt des Hornbaumes, Carpinus Betulus

In der Fläche des abgebildeten Blattes von Majanthemum bifolium durchlaufen zahlreiche Blattnerven in sanftem Bogen den Raum bis zur Spitze, wodurch die Blattfläche in einfachster Weise flach ausgespannt ist. Um dem Ganzen noch mehr Halt zu geben, sind die Nerven unter sich noch durch zarte Querrippen verbunden. Ganz dasselbe Endziel ist bei den Blättern der Dikotylen, z. B. dem Blatt des Hornbaumes durch eine andere Anordnung der Blattrippen erreicht.

Bei diesem Blatte tritt, wie dies überhaupt bei den Dikotylenblättern fast allgemein der Fall ist, ein starker Hauptnerv hervor, der gerade von der Basis zur Spitze verläuft und das Blatt in eine rechte und linke Hälfte teilt. Besitzt ein Blatt eine mehrspitzige Gestalt, wie z. B. das des Ahorns, so hat es auch mehrere Hauptnerven, welche in jeden Abschnitt des Blattes eintreten, um ihn zu stützen und auszubreiten.

Mehrere Hauptnerven pflegen auch rundliche Blätter, wie z. B. das Blatt der sogenannten spanischen Kresse, Tropaeolum majus zu besitzen, um der breiteren Blattfläche genügenden Halt zu gewähren. An den Hauptnerven setzen in spitzen Winkeln rechts und links Nerven zweiter Ordnung an (Fig. 5) und befestigen gleichmäßig die rechte und linke Hälfte der Blattfläche Die Seitennerven senden selbst wieder zartere Zweige aus, so daß sich das ganze Adernetz allmählich in immer dünnere Stränge auflöst, deren letzte Verzweigungen blind im Gewebe endigen.

Fig. 6.



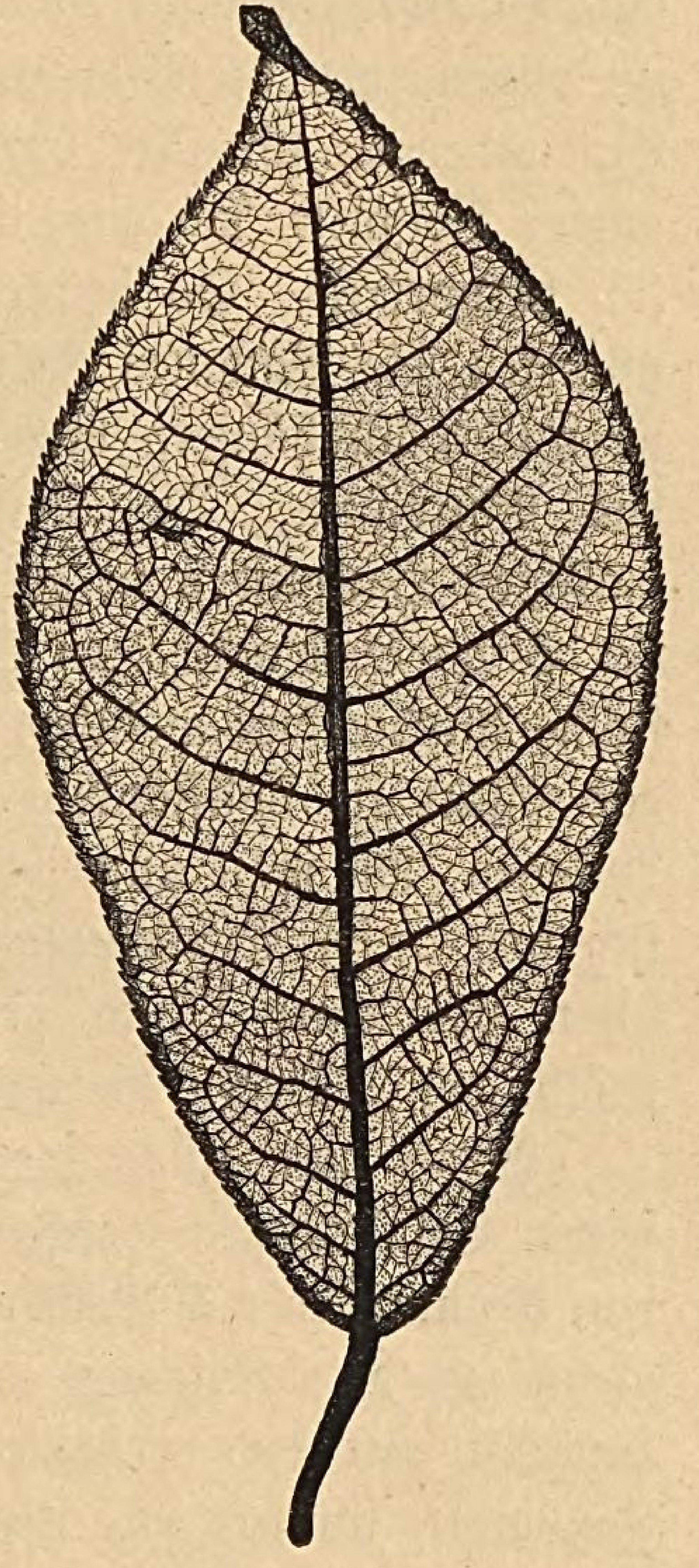
Blatt des Feldahorns, Acer campestre.

Ganz besonders bemerkenswert ist es, daß die Verbindung der Blattnervatur eine derartige ist, daß sie zugleich dem Blatte einen Schutz gewährt, gegen eine Gefahr, welche die straffe Ausspannung der dünnen Blattlamelle in sich schließt. Es leuchtet ein, daß eine dünne Stofflamelle der Gefahr des seitlichen Einreißens preisgegeben ist. Die Blätter unserer Bäume, welche oft auf das Heftigste vom Winde hin- und hergezerrt werden, reißen aber nicht ein, ein Beweis, daß sie durch besondere Einrichtungen vor diesem Eingriff geschützt sind. Bei den meisten Blättern ist durch die Anordnung der Blattnerven das Einreißen vom Rande her in verschieden vollkommener Weise verhindert. Häufig ist schon der Blattrand mit einen stärkeren Epidermis und Cuticula versehen, so daß das Blatt gleichsam gesäumt ist, allein einen viel bedeutenderen Schutz gewährt der Verlauf der Blattrippen.

Bei vielen Blättern, z. B. bei denen der Buche und des Hornbaumes (Fig. 5), laufen die Seitennerven direkt an den Blattrand und endigen dort in einem der Blattzähne. An dieser

Stelle kann natürlich kein Riß erfolgen, desto leichter würde aber das Blattgewebe zwischen zwei Blattrippen einreißen, wenn nicht nahe unter dem Ende der letzteren ein kürzerer Nerv abzweigte und in andere Blattzähne des Randes einträte. Den endlichen Abschluß des Systems bilden auch hier Querverbindungen und die Befestigung ist dadurch eine solche, daß ein Einreißen vom Rande fast illusorisch gemacht ist. Wenn wirklich ein Riß entstände, so kann derselbe nicht fortschreiten, denn er trifft nahe am Rande schon auf festere Rippen, welche ihn aufhalten. Immerhin ist diese Einrichtung noch etwas einfacher, als eine andere zu deren Illustration das Blatt von Prunus Padus dienen kann. Die Seitennerven, welche vom mittleren abzweigen, haben einen eigentümlichen Verlauf. Ihre Verbindung ist ganz besonders geeignet, mechanischen Leistungen zu dienen. Jeder Seitennerv nimmt nämlich, wie man sieht, eine solche Richtung, daß er sich bogenförmig an den folgenden höherstehenden anlegt. Betrachtet man nun den Raum, welcher noch jederseits zwischen diesem Bogensystem und dem gezähnten Blattrande vorhanden ist, so bemerkt man, daß auf die erste Bogenreihe eine zweite Etage mit ebenfalls nach außen konvexen Bogen aufgesetzt ist, und von diesen endlich tritt eine letzte dünne Rippe in jeden Blattzahn. Ganz bezeichnend hat Sachs solche Konstruktionen

Fig. 7.



Blatt der Traubenkirsche, Prunus Padus.

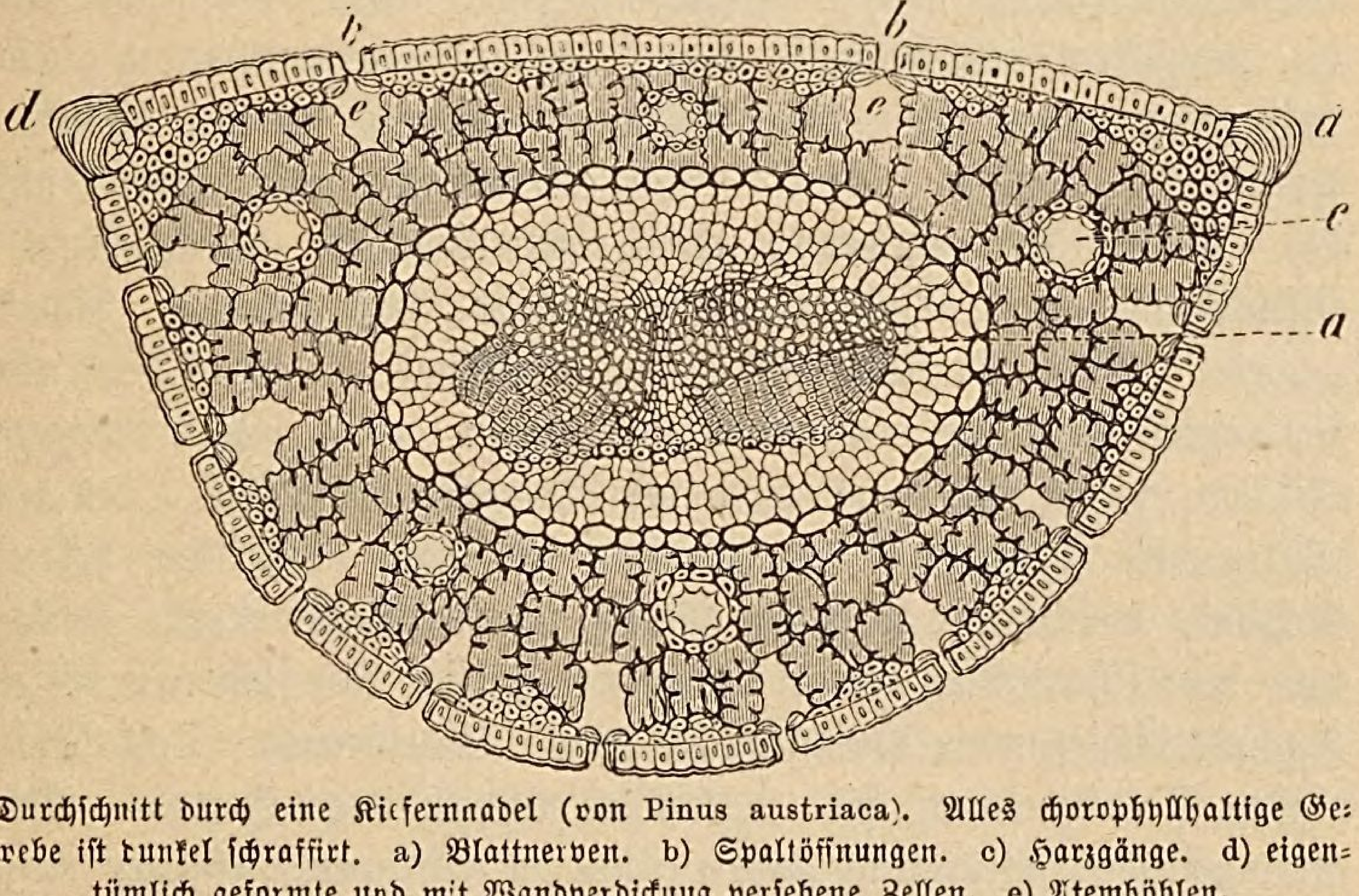
mit dem Gewölbebau einer Brücke verglichen, und in der That gleichen die Blattrippen mit ihren Bogenverbindungen nicht nur äußerlich den Pfeilern und Bögen einer Brücke, sondern es sind im Blattgerüst ganz ähnliche mechanische Aufgaben gelöst.

Die beste Überzeugung, daß das Blatt durch die Nervatur wirklich vor dem Einreißen geschützt ist, giebt die Betrachtung von Blättern, welchen solche Einrichtungen fehlen. Wenn man im allgemeinen die Pflanzen und ihre Organe mit zweckmäßigen Einrichtungen für ihre Existenz ausgerüstet findet, so giebt es immer Beispiele, wo ganz im Gegenteil das Unzureichende deutlich hervortritt. So besitzt eine Gruppe der stattlichsten Tropenpflanzen, die Bananen, deren großartige Battflächen wir in unseren Gewächshäusern bewundern, keinen derartigen Schutz gegen das Einreißen. Die Seitennerven laufen alle parallel vom massigen Hauptnerv in gerader Linie an den Blattrand. Wenn der Wind diese mächtigen Blattfahnen erfaßt, so reißt die Blattfläche hundertfach zwischen den Blattnerven in schmale Bänder; das Blatt ist vollständig zerfetzt. In botanischen Gärten oder Anlagen, wo man zuweilen Bananen ins Freie setzt, kann man sich von dieser Erscheinung überzeugen und mancher Leser wird schon vor einer Musa gestanden und mit Bedauern von den prächtigen Blättern die meisten eingerissen gefunden haben.

Wenn man alles soeben über das Blatt Mitgeteilte mit seinen Erfahrungen vergleicht, so findet sich, daß eine Anzahl von Kenntnissen und Beobachtungen die man besitzt, sich nicht sogleich mit dem Gesagten in Einklang bringen läßt. Wir haben zunächst nur die verbreitetste Form des Blattes, das typische Laubblatt, studiert mit seiner breiten grünen Blattfläche. Daß es auch zahlreiche andere, von der hier herangezogenen ganz abweichende Blattformen giebt, lehrt die tägliche Beobachtung. Dahin gehören z. B. die jedem aus frühester Jugend bekannten Blätter der Nadelhölzer, der Fichte, der Tanne, der Kiefer u. s. w. Auch die sogenannten Tannennadeln sind Blätter, allein sie weichen vom Typus des Blattes in ihrer Gestalt ab; sie sind

keine flache Lamellen, sondern sind mehr oder weniger schmal und pfriemlich, kurz, wie man gewöhnlich sagt, nadelförmig. Dennoch sind diese Nadeln die Blätter jener Pflanzen, und so gut wie bei den Laubpflanzen ihre Ernährungsorgane. Ebenso wird man auch die anders geformten Organe einiger anderer Pflanzen trotz der vom breiten Laubblatte weit entfernten Form als Blätter anerkennen. Ich erinnere nur an die dicken, fleischigen Blätter, welche die in Gärten so häufig kultivierten Echeverien und

Fig. 8.



Durchschnitt durch eine Kiefernnadel (von Pinus austriaca). Alles chorophyllhaltige Gewebe ist dunkel schraffirt. a) Blattnerven. b) Spaltöffnungen. c) Harzgänge. d) eigentümlich geformte und mit Wandverdickuug versehene Zellen. e) Atemhöhlen.

Sempervivén besitzen und an die mächtigen Blattorgane der Agaven und Aloearten. Erklärlich wird diese fleischige Blattform, wenn man an die klimatischen Bedingungen denkt, in denen jene Pflanzen in ihrer Heimat leben. Sie sind Bewohner von Zonen, die zeitweise des Regens lange entbehren. Die Pflanzen besitzen nun in ihren fleischigen, saftigen Organen, welche durch einen dicken Überzug von Cuticula vor Verdunstung geschützt sind, Wasserreservoire, welche in den Zeiten des Mangels den Bedarf an Wasser decken.

Bei allen diesen vom Blatt unserer Bäume so abweichenden Formen ist aber dennoch immer auf das Chlorophyll Rücksicht genommen. Die Funktionsfähigkeit des Chlorophylls muß auf alle Fälle gesichert werden, und daß dies geschieht mag das mikroskopische Bild eines Nadelholzblattes bestätigen.

Der mikroskopische Schnitt durch eine Kiefernnadel zeigt einen ganz andern Umriß als der des typischen Blattes, welches die Fig. 1 uns darbot. Bei näherer Betrachtung wird man jedoch eine größere Ähnlichkeit in der ganzen Anordnung der Elemente gewahr, als es anfangs scheinen mag. Es findet sich die umhüllende Epidermis, deren Zellen sehr dickwandig sind, entsprechend der festen und harten Konsistenz, welche die Kiefernnadeln besitzen. Auch beim Nadelholzblatte finden wir die Reihe der Epidermiszellen unterbrochen durch Spaltöffnungen. Die Epidermis umschließt das übrige Blattgewebe. Eine Verschiedenheit der Blattzellen nach Ober- und Unterseite ist nicht vorhanden. Dagegen macht sich in konzentrischen Zonen ein Unterschied der Elemente bemerkbar. In der Mitte des Durchschnittes befindet sich eine elliptische hellere Region, welche durch einen Kranz regelmäßiger großer Zellen von dem schattierten Gewebe abgegrenzt ist. Im Zentrum dieses Komplexes liegen die Durchschnitte zweier Blattnerven. Das Wichtigste ist aber auch hier das chlorophyllhaltige Gewebe. Der Kleinheit der Zeichnung wegen sind die Chlorophyllkörner weggelassen, zur Kennzeichnung des Areals an Chlorophyllgewebe aber die grünen Zellen schattiert. Achten wir bei einem Vergleiche des Nadelholzblattes mit dem Laubblatt besonders auf das Chlorophyllgewebe, so ergiebt sich ohne weiteres, daß auch bei der Kiefernnadel die Lösung desselben Problems angestrebt ist, wie beim Laubblatt, nämlich das Chlorophyll in möglichst dünner Schicht dem Lichte darzubieten. Das Nadelholzblatt ist dicker als das Laubblatt, aber es ist deshalb auch bei jenem nur das äußere, dem Licht zugängliche Gewebe chlorophyllführend, die innere Region enthält keine Chlorophyll.

Nicht anders ist es bei den viel dickeren, fleischigen Blättern der Agaven, Echeverien und andern Crassulaceen. Man täuscht sich, wenn man glaubt, diese dicken massigen Blätter seien ganz aus chlorophyllhaltigem Gewebe aufgebaut. Man braucht ein solches Blatt nur mit einem scharfen Messer glatt zu durchschneiden, um zu gewahren, daß die größte Masse des Gewebes farblos ist und daß die chlorophyllhaltigen Zellen nur eine dünne Oberflächenschicht darstellen. Die Sonnenstrahlen würden in der Tiefe der Blätter befindliches Chlorophyll doch nicht genügend beleuchten können, um es zur Kohlensäurezersetzung anzuregen. Es kann also der Zweck nicht besser für die Pflanze erreicht werden, als daß das Chlorophyllgewebe als dünne Zellschicht die dicken Blätter bedeckt.

Es bietet sich hier Gelegenheit, zu bemerken, daß in der Natur nicht nach einer Schablone verfahren wird. Obgleich überall derselbe Zweck zu erkennen ist, das Chlorophyll in dünner Lage dem Lichte darzubieten sind die verschiedensten Mittel benutzt, um dies zu erreichen. Kommen beim typischen Laubblatt komplizierte und sinnreiche Einrichtungen zur Erreichung des Zieles zur Anwendung, so ist in anderen Fällen das Problem in ganz anderer, beinahe einfacher Weise gelöst. Man kann also nicht in den Irrtum verfallen zu glauben, daß die Pflanzen deshalb die flachausgebreiteten Blätter besäßen, weil es durchaus nicht anders ginge. Wie weit die Modulation gehen kann, sieht man daraus, daß es gar nicht einmal nötig ist, daß ausnahmslos Blätter die Träger des Chlorophylls sind. Wenn wir von den unvollkommneren Pflanzen z. B. den Algen oder vielen Lebermoosen, welche keine Blätter besitzen absehen, so giebt es auch hochentwickelte Gewächse, denen Blätter ganz fehlen. Vergleichen wir eine jener Kaktusarten mit stachlichem, zylindrischem oder fast kugelförmigem Stamm, wie sie jedermann kennt, oder eine Opuntie mit ihren dickfleischigen, ungraziösen Sproßgebilden mit einem unserer Kräuter oder Stauden, so fällt der Mangel an grünen Blättern sofort in die Augen. Man müßte nach dem,

was über die Blätter gesagt wurde glauben, einem Kaktus fehlten die wichtigsten Ernährungsorgane. Freilich mangeln ihm die Blätter, aber das eigentliche Wesentliche des Blattes, das Chlorophyll, besitzen die genannten Pflanzen so gut wie beblätterte Gewächse. Bei solchen blattlosen Pflanzen ist die ernährende Zellschicht auf dem Stamm selbst ausgebreitet und bildet einen dünnen Überzug, welcher den gesamten oberirdischen Stamm der Pflanzen bedeckt. Die Lagerung des chlorophyllhaltigen Gewebes bei den Kaktuspflanzen ist also eine ganz ähnliche, wie bei den dicken fleischigen Blättern der Agave, nur daß bei diesen in der That Blätter, bei den Kakteen der ganze Stamm die chlorophyllhaltige Gewebeschicht trägt. Noch in andern Formen finden wir oft die Stengelgebilde als alleinige Träger des Chlorophylls. Als ein Fall dieser Art ist unser Spargel zu erwähnen. Das Spargelkraut, jene feinen Verzweigungen, welche der Spargel über die Erde schickt, besteht aus dünnen grünen Sprossen. Die Blätter dieser Stengel sind zu ganz winzigen farblosen Schüppchen verkümmert, und diese Blätter können nichts für die Ernährung leisten, deshalb ist hier der ganze Stengel mit grünem Gewebe bekleidet. Derartige Fälle, welche eben besprochen wurden, sind freilich Ausnahmefälle im Gegensatz zum Gros der höher organisierten Pflanzen. Im allgemeinen finden wir das Blatt als Träger des Chlorophylls, als Ernährungsorgan. Die Anführung jener Ausnahmen beweist aber aufs Eindringlichste, daß das Wesentliche am Blatte des Chlorophyll ist, daß das Blatt nicht ein Ernährungsorgan ist, weil es ein Blatt ist, sondern weil es Chlorophyll besitzt, weil es grün ist. Alle diese Thatsachen, welche eben mitgeteilt wurden, geben in ihrer Zusammenfassung erst eine richtige wissenschaftliche Vorstellung des Blattes, aber damit sind dann auch die Vorbedingungen gegeben, um die physiologische Arbeit des Blattes zu verstehen. Diese Arbeit ist die Zersetzung der Kohlensäure und die Bildung organischer Substanz.

Die Zersetzung der Kohlensäure durch die Blätter.

Die Einsicht, woher die Kohlensäure stammt und durch welche Organe die Pflanze sie aufnimmt ist das Resultat unserer bisherigen Lektüre. Es handelt sich aber nicht um die bloße Aufnahme von Kohlensäure in den Pflanzenkörper. Wir stehen mit der Kohlensäureaufnahme erst am Anfange der Pflanzenernährung, ebenso wie beim Tiere in der Aufnahme von Speise durch den Mund nur die Einleitung des Ernährungsprozesses gegeben ist. In der Stoffaufnahme liegt nicht das Wesen der Ernährung, sondern nur eine Garantie für dieselbe. Nicht wie man Stein auf Stein fügt, so daß endlich ein Haus daraus wird, bauen sich aus Nahrungsmitteln die Organe auf. Einer langen Wanderung und vielfachen Wandlungen unterliegt die Materie, ehe sie geschickt ist Organbestandteil zu werden. Der Verlauf der chemischen Prozesse, in welche die Kohlensäure nach ihrer Aufnahme verwickelt wird, die Spaltungen, welchen sie unterliegt, die Verbindungen, welche der Kohlenstoff eingeht, um die organische Substanz, das Baumaterial für die Pflanzenorgane zu erzeugen, werden das nächste Ziel unserer Darstellung bilden.

Das Chlorophyllkorn ist der Ort, wo diese chemischen Prozesse sich abspielen und wir müßten diese Laboratorien aufsuchen, um der Kohlensäurezersetzung beiwohnen zu können. Hier stehen wir aber vor räumlichen Verhältnissen und Vorgängen, für deren Durchdringung unser Auge nicht ausgerüstet ist. Und dennoch ist diese scheinbar unüberwindliche Schranke überstiegen und wir haben trotz der Unzulänglichkeit unserer Sinne einen Einblick in diese Phase der Pflanzenernährung, der einer Anschauung fast gleichkommt. Unmittelbar ist die Produktion organischer Substanz aus Kohlensäure und Wasser nicht sichtbar, aber wie viele Naturvorgänge sind für uns unsichtbar, an deren Verlauf wir nicht nur glauben, sondern welche uns in deutlicher Vorstellung gegenwärtig sind. Reiben wir eine Eisenstange, so geraten die Moleküle des Stabes in

Bewegung. Von dieser Bewegung sehen wir nichts, aber sie gelangt uns als Wärme zur Wahrnehmung. Die Produktion der organischen Substanz aus Kohlensäure und Wasser giebt sich nun ebenfalls durch ein Symptom zu erkennen und zwar durch ein mit dem Auge wahrnehmbares. Es ist die Zersetzung der Kohlensäure, durch welche der Vorgang der Erzeugung von Pflanzensubstanz zur äußeren Erscheinung gelangt:

Bei der Entstehung der organischen Substanz aus Kohlensäure und Wasser im Chlorophyll wird freier Sauerstoff in großer Menge ausgeschieden.

Die Kohlensäure besteht aus Kohlenstoff und Sauerstoff, aus Wasserstoff und Sauerstoff das Wasser, aber nicht aller Sauerstoff dieser beiden Komponenten ist nötig um die organische Substanz zu bilden. Nur ein Teil des Sauerstoffs geht in die Verbindung ein, der Überfluß tritt frei aus der Pflanze aus. Wie bei einem chemischen Industriezweige, der auf Erzeugung eines bestimmten Produktes gerichtet ist, Nebenprodukte entstehen, deren Bildung nicht beabsichtigt ist, die aber der chemische Prozeß notwendig mit sich bringt, so ist auch der exhalierte Sauerstoff gleichsam ein Nebenprodukt bei der Fabrikation pflanzlicher Substanz im Chlorophyll, ein Überrest der als momentan unbrauchbar hinausgeschafft wird.

Die Thatsache, daß die grünen Blätter bei der Kohlensäurezersetzung gasförmigen Sauerstoff in die Luft ausstoßen, ist ein überaus glücklicher Umstand und für die wissenschaftliche Erkenntnis von enormer Wichtigkeit gewesen. Durch die Sauerstoffausscheidung wurde es möglich, die Assimilation des Kohlenstoffes gewahr zu werden. Die Sauerstoffausscheidung führte zur Entdeckung des ganzen Vorganges, von dem wir vielleicht sonst noch heute keine Ahnung hätten.

Nun wird sich zwar der Leser vergeblich bemühen, sich ohne weiteres von der Sauerstoffaushauchung der grünen Blätter zu überzeugen. Mag man eine einzelne Pflanze oder einen ganzen Wald von Bäumen, der von der Sonne beschienen wird und

immerfort Kohlensäure zersetzt, noch so aufmerksam betrachten, es wird sich kein äußeres Zeichen finden, welches von dem wichtigen und bewundernswürdigen Prozeß, der in allen grünen Zellen verläuft, Kunde giebt. Hier handelt es sich um einen Vorgang, der dem Auge nur durch das Experiment sichtbar gemacht werden kann. In der Natur tritt der Sauerstoff bei der Assimilation*) aus den Blättern in die Luft aus und da er ein farbloses Gas ist, so muß sein Austritt für uns unsichtbar sein. Aber die Sauerstoffausscheidung läßt sich mit Leichtigkeit zur Anschauung bringen, auf welche Weise, wird folgendes Beispiel lehren. Wenn wir durch ein Glasrohr mit dem Munde einen Luftstrom blasen, so können wir uns zwar durch das Gefühl von dem Vorhandensein desselben überzeugen. Jemand, der in einiger Entfernung zusähe, würde jedoch im Zweifel bleiben, ob wir wirklich Luft durch das Rohr blasen. Um das Vorhandensein dieses Luftstromes nachzuweisen, brauchen wir nur das eine Ende unseres Rohres in Wasser zu tauchen. Die Luft muß nun durch das Wasser ihren Weg nehmen und die aufperlenden Blasen machen den Luftstrom sichtbar.

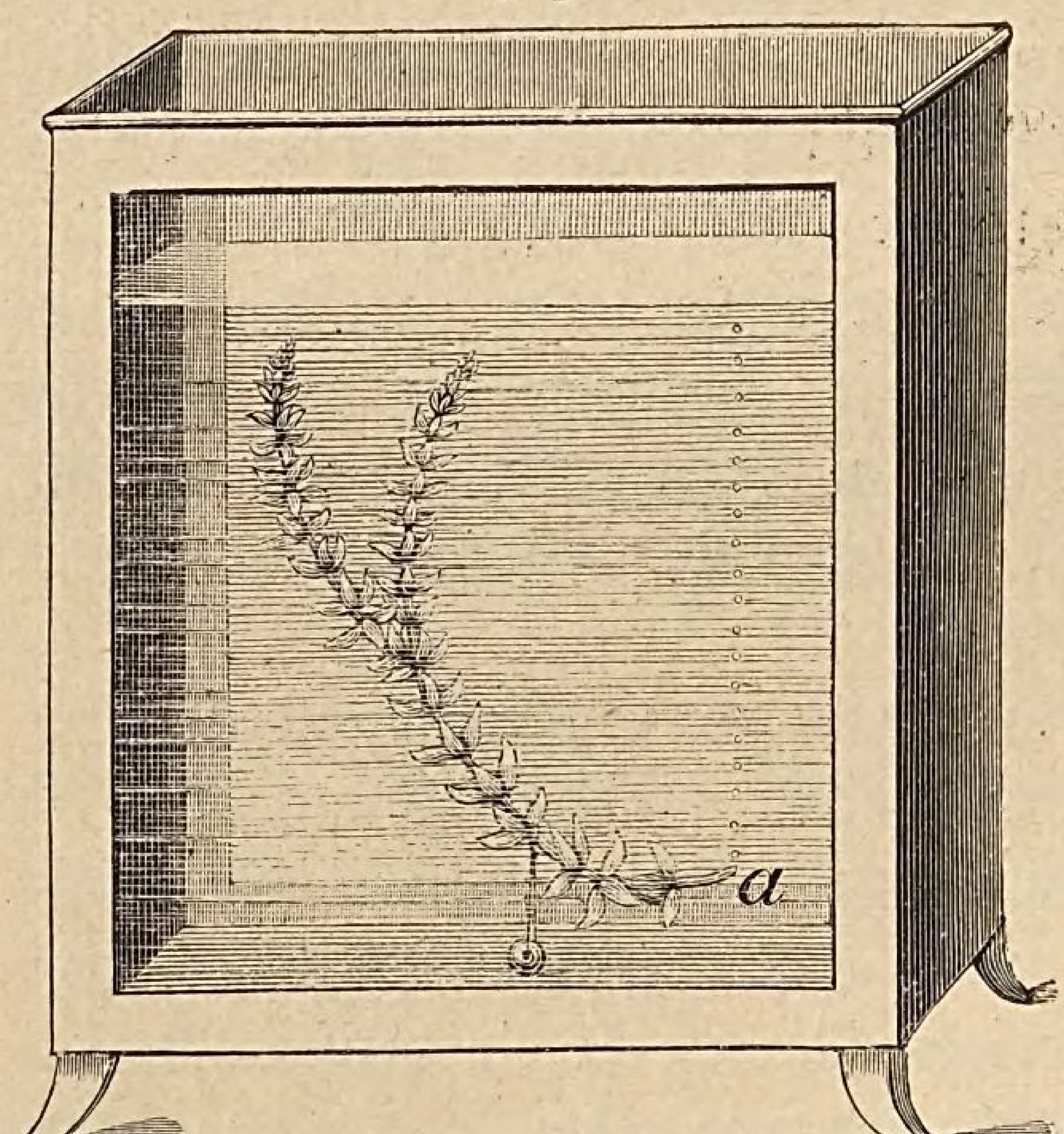
In derselben Weise läßt sich der Sauerstoffaustritt aus den Blättern sichtbar machen, indem wir eine Pflanze statt in der Luft unter Wasser Kohlensäure zersetzen lassen. Es würde fehlerhaft sein, wenn man zur Anstellung dieses Versuches einen Blumentopf mit einer beliebigen Pflanze in ein großes Wassergefäß setzen wollte. Eine solche untergetauchte Landpflanze würde sich in ganz unnatürlichen Bedingungen befinden. Die Natur kommt aber unserem Versuch selbst entgegen, da es bekanntlich zahllose Pflanzen giebt, welche im Wasser leben. Nehmen wir eine Wasserpflanze unserer Teiche und Gräben und bringen sie in ein Wassergefäß, so braucht dasselbe nur in die Sonne gestellt zu werden und alles ist zur Beobachtung der Kohlensäurezersetzung vorbereitet. In jedem Wasserglase läßt sich dies einfache

*) Für den ganzen Vorgang der Kohlensäurezersetzung und der Bildung von organ. Substanz braucht man den kurzen Ausdruck „Assimilation".

Experiment anstellen. Unsere Fig. 9 stellt einen einfachen Apparat dar, welcher zur Anstellung des Versuches besonders geeignet ist.

Das viereckige auf Füßen ruhende Gefäß ist ein Kasten aus Zinkblech, an welchem die vordere und hintere Wand durch Glas ersetzt sind so daß derselbe einen vollkommen durchsichtigen Behälter darstellt. Dieser Trog wird mit frischem Brunnenwasser gefüllt und eine Wasserpflanze hinein gebracht. Es ist nicht nötig eine vollständige angewurzelte Pflanze zu nehmen. Auch eine abgeschnittene Pflanze ist ja noch völlig lebendig und kann ihre Funktionen noch geraume Zeit fortsetzen. Namentlich aber können Teile von Wasserpflanzen normal weiter vegetieren und fortwachsen. Als Versuchspflanze eignet sich beispielsweise die bekannte Wasserpest, Elodea canadensis, ein zierliches und zartes Pflänzchen aus Nordamerika, welches seinen abschreckenden Namen seiner lebensvollen Vegetation verdankt. Die Pflanze hat nichts weniger als die Eigenschaft das Wasser zu verpesten. Gegen Ende der dreißiger Jahre in unsern Gewässern auftretend, vermehrte sich die Elodea so massenhaft, daß sie durch Verstopfen von Wasserabflüssen und Schleusen Störungen herbeiführte, die ihr den schlecht gewählten Namen eintrugen.

Fig. 9.



Apparat zur Demonstration der Sauerstoffabscheidung bei der Assimilation. Bei a tritt der Gasblasenstrom aus der Schnittfläche des Stengels der Pflanze aus.

Will man die Beobachtung der Kohlensäurezersetzung anstellen, so ist es notwendig die Pflanze untergetaucht zu halten. Ein-

fach in das Wasser gelegt würde sie obenaufschwimmen. Durch das Gewicht einiger großer Glasperlen, welche mit einem feinen Faden an der Pflanze befestigt werden, wird sie in richtiger Stellung im Wasser gehalten. Stellen wir das Gefäß in die Sonne, so bedarf es keiner langen Geduld um einen Gasblasenstrom von der Schnittfläche des Stengels im Wasser aufsteigen zu sehen, wie es in unserer Abbildung angedeutet ist. In schneller Folge lösen sich die Blasen von der Schnittfläche des Stengels und wie eine Perlenschnur geht der Blasenstrom nach oben. Diese Blasen sind Sauerstoff — jener Sauerstoff, der bei der Zersetzung der Kohlensäure in allen chlorophyllhaltigen Zellen unter dem Einfluß des Sonnenlichtes abgespalten wird. Nur deshalb sehen wir bei unserem Experiment den Sauerstoff nur an der einen Stelle, an der Schnittfläche des Stengels austreten, weil hier der geringste Widerstand zu überwinden ist. Der in allen chlorophyllhaltigen Zellen abgeschiedene Sauerstoff tritt in die Intercellularräume, welche durch den Schnitt an unserem Stengelstück ihre gemeinsame Ausmündung erhalten haben. Nichts ist leichter als den Nachweis zu führen, daß das ausgeschiedene Gas wirklich Sauerstoff sei. Bringen wir eine größere Menge Wasserpflanzen in den ohne weiteres verständlichen Apparat, der in Fig. 10 abgebildet ist, so läßt sich ein beträchtliches Volumen des Gases gewinnen, welches sich in dem Rohr b ansammelt. Wie bekannt entflammt reiner Sauerstoff einen glimmenden Holzspahn, und wenn wir einen solchen in das Rohr einführen, nachdem sich dasselbe ganz mit Gas gefüllt hat, läßt sich die Sauerstoffnatur desselben veranschaulichen.

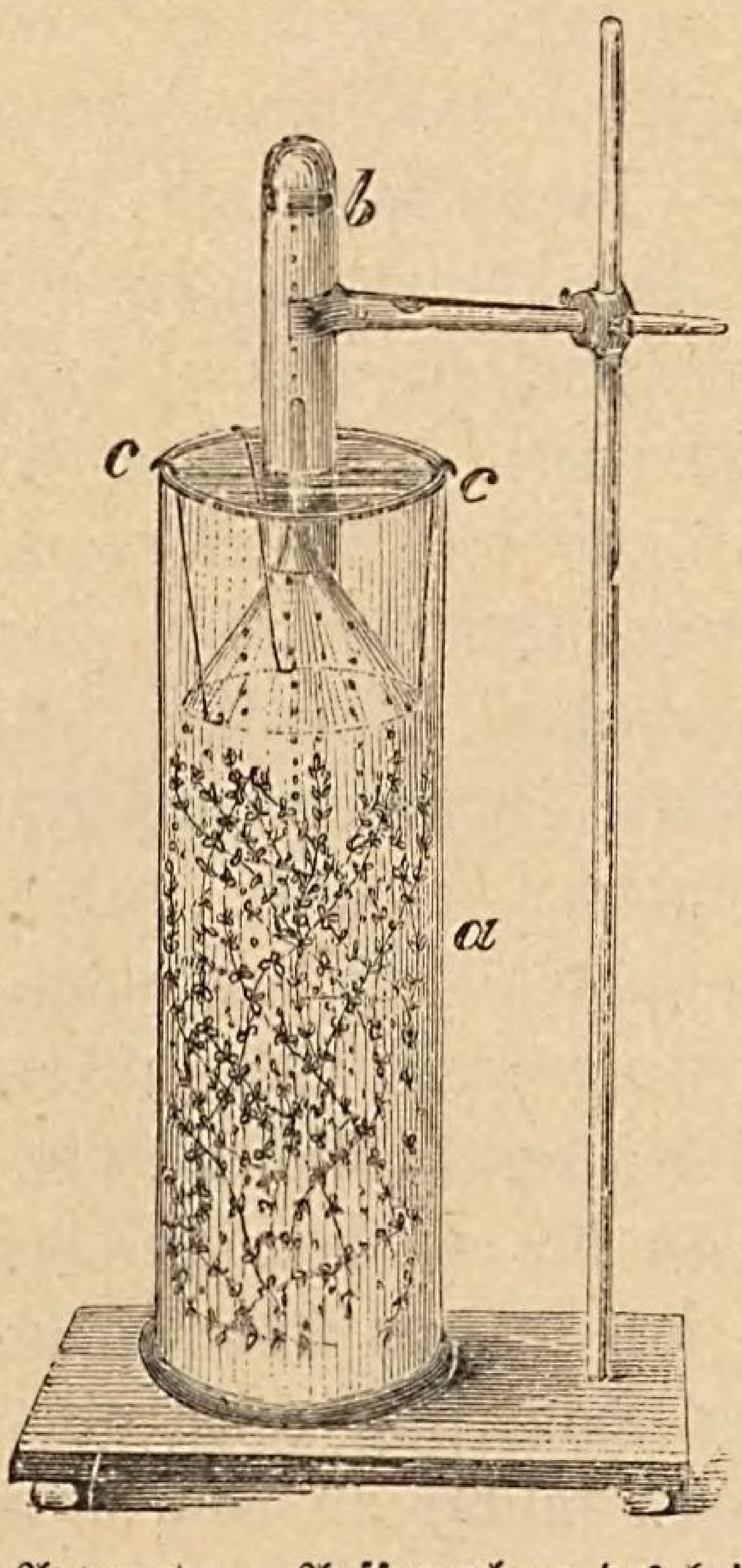
Würden wir das Gas in dem Rohr b analysieren, so würde sich allerdings dem Sauerstoff eine bestimmte Menge Kohlensäure und Stickstoff beigemengt finden. Diese Beimengungen sind während des Aufsteigens der Sauerstoffbläschen aus dem Wasser, welches Kohlensäure und atmosphärische Luft gelöst enthält, in die Gasblasen hineindiffundiert.

Es wird vielleicht eine Frage dem Leser bei diesen einfachen

Demonstrationen der Sauerstoffausscheidung auf den Lippen geschwebt haben, nämlich die: woher nehmen denn die im Wasser befindlichen Pflanzen die Kohlensäure, ohne die eine Sauerstoffabscheidung ja gar nicht stattfinden kann?

Oben ist des Längeren und Breiteren auseinandergesetzt worden, daß die Pflanzen ihre Kohlensäure ganz ausschließlich aus der Luft nehmen, eine Behauptung der diese Vegetationen im Wasser anscheinend widersprechen. Unsere Wasserpflanze steht gar nicht mit der Luft in Berührung, sondern ist vollständig von Wasser umgeben und es hat den Anschein, als ob ihr dadurch die Kohlensäure vollständig abgeschnitten wäre. Dem ist nicht so. Die Wasserpflanzen haben trotz ihrer Wasserumgebung dieselbe Kohlenstoffquelle, wie die Landpflanzen. Die Welten von Wassergewächsen, welche der Ozean, die Seeen und Flüsse beherbergen, entnehmen ihren Kohlenstoff der atmosphärischen Kohlensäure ebenso wie die Landpflanzen. Wie jedermann weiß, löst das Wasser nicht nur feste Stoffe, sondern auch Gase auf und welche Mengen atmosphärischer Luft das Wasser gelöst enthält, läßt sich beim Erwärmen desselben wahrnehmen, wo die Luft in Blasen entweicht. Die Kohlensäure als Bestandteil der atmosphärischen Luft findet sich also mit im Wasser gelöst und auch den Wasserpflanzen dient keine andere Kohlensäure zur Ernährung als diese gelöste atmosphärische Kohlensäure.

Fig. 10.



Apparat zur Aufsammlung des bei der Assimilation abgeschiedenen Sauerstoffs. a) ein mit Wasser angefüllter Glascylinder, welcher eine größere Quantität Elodea canadensis enthält. Durch den Trichter der durch einige Drähte c gehalten wird, werden die Sauerstoffblasen in das Rohr b geleitet.

Es geht daraus hervor, daß nur in einem kohlensäurehaltigen Wasser die Assimilation vor sich gehen kann. Man kann durch einfaches Auskochen ein kohlensäurehaltiges Wasser von seiner Kohlensäure befreien. Würde man nach dem Erkalten in dieses Wasser eine Pflanze bringen, so wird selbst, wenn dieselbe das hellste Sonnenlicht erhält, kein Sauerstoffstrom auftreten. Es fehlt die Kohlensäure, aus welcher die Pflanze ihn abspaltet. Man leite aber in das Wasser etwas Kohlensäure, welche in einem Kohlensäureapparat aus Marmor und Salzsäure entwickelt wird, so beginnt alsbald die Pflanze zu assimilieren und der Sauerstoffstrom erscheint. So läßt sich also schon mit dem einfachen Apparat, mit welchem die Abscheidung des Sauerstoffs demonstriert wurde, die Notwendigkeit der Kohlensäure für diesen Vorgang auf das Überzeugendste nachweisen. Ganz ebenso läßt sich bei dieser Gelegenheit die Unentbehrlichkeit des Lichtes für die Assimilation vorläufig veranschaulichen. Wir stellten unseren Apparat in die Sonne, denn es bedarf eines intensiven Lichtes, um die Kohlensäurezersetzung im Chlorophyll hervorzurufen. Wenn wir der assimilierenden Wasserpflanze durch Beschattung das Sonnenlicht abschneiden, so wird der Blasenstrom sofort langsamer und wenn die Beschattung nur eine etwas stärkere und andauernde ist, so hört der Gasstrom ganz auf, um erst wieder zu beginnen, wenn wir den Schirm entfernen. Diese Thatsache macht es einleuchtend, daß grüne Pflanzen nur dann ihre Ernährungsthätigkeit aufnehmen und daß sie nur dann gedeihen können, wenn sie sich unter heller Tagesbeleuchtung befinden. Fehlt einer grünen Pflanze helles Licht, so nützt ihr alle Kohlensäure nichts, sie verhungert trotz des Überflusses, denn nur im Lichte kann das Chlorophyll diejenige Thätigkeit beginnen, welche das gegebene Kohlensäurematerial für die Ernährung nutzbar macht.

Noch heute pflegt die Sauerstoffabscheidung durch die Blätter demjenigen, der sie zum erstenmale sieht, eine Äußerung des Erstaunens zu entlocken, welches sich freilich bei der leichten

und einfachen Erklärbarkeit, die unsere chemisch-physiologische Bildung ermöglicht, bald mindert. Man kann sich aber vorstellen, welchen Eindruck die Thatsache machen mußte, als man zum erstenmal überhaupt das Austreten von Gasblasen aus Pflanzenblättern beobachtete, ohne noch irgend einen Anhaltepunkt für die Deutung zur Hand zu haben. Es war der berühmte englische Chemiker Priestley, welcher beobachtete, daß Pflanzen, die er unter Wasser getaucht stehen ließ, Gas abschieden. Das Gas bestand, wie seine Analyse ergab, „aus sehr reiner Luft" und bestätigte seine schon früher gewonnene Erfahrung, daß die Pflanzen, wie man sich damals ausdrückte, „die Luft verbesserten." Diese Verbesserung der Luft durch die Pflanzen, welche damals die Aufmerksamkeit der Gelehrten in hohem Maße erregte und das allgemeine Interesse auf sich zog, war durch die Bereicherung der umgebenden Luft an Sauerstoff veranlaßt, aber bei dem damaligen Stande der Chemie konnte man dies nicht klar überblicken und war weit davon entfernt an die Gesetzmäßigkeit dieser Erscheinung zu glauben, geschweige denn ihre Beziehung zur Pflanzenernährung zu erkennen. Priestley gelangte nicht dahin, die Allgemeinheit der Sauerstoffabscheidung durch grüne Pflanzenteile zu bestätigen. Seine eigenen Experimente, die in ihren Resultaten nach seiner Meinung nicht übereinstimmten, machten ihn schwankend, an eine Gesetzmäßigkeit zu glauben, wozu noch der Widerspruch des schwedischen Chemikers Scheele beitragen mochte.

Jan Ingenhousz, der schon mehrfach genannte holländische Gelehrte, war es, der in den Jahren 1778—1779 Experimente über diesen Gegenstand beginnend, die Sauerstoffabscheidung der Pflanzen als eine festbegründete Entdeckung veröffentlichen konnte. Freilich konnte auch er das abgeschiedene Gas nicht als Sauerstoff bezeichnen, der eben erst von Priestley entdeckt in seiner Verbreitung in der Natur noch gar nicht aufgespürt war. Aber zwei fundamentale Punkte waren es, die Ingenhousz klarer Geist erkannte. Einmal, daß die Abscheidung des respirabeln Gases — denn das meinte man mit dem Ausdrucke „reine Luft"

nur durch Pflanzenteile von grüner Farbe vollzogen wurde und daß die Ursache der Gasabscheidung das Sonnenlicht sei. Nicht nur die Allgemeinheit der Naturerscheinung, sondern auch ihre Kausalität war durch Ingenhousz' glänzenden Scharfsinn entdeckt. Noch war es aber nicht möglich, die „Verbesserung der Luft" durch die Pflanzen als ein Symptom ihrer Ernährungsthätigkeit zu erkennen. Die Kohlensäure war als „fixe Luft" den Chemikern zwar bekannt, aber die Kenntnis ihrer elementaren Zusammensetzung war ihnen noch vorenthalten, denn die Leuchte Lavoisiers war noch nicht in ihrem vollen Glanze aufgegangen. Eine Ahnung von der wahren Bedeutung seiner Beobachtungen ist schon damals in Ingenhousz Geiste aufgestiegen. Die Thatsache, daß Pflanzen besser in durch Atmen an Kohlensäure reicher gewordener oder wie man damals sagte, „verdorbener Luft", als in reiner fortwuchsen, machte es ihm schon damals zur Gewißheit, daß die Pflanzen die durch das Atemholen der Tiere verdorbene Luft als Nahrung benutzten. So zeitigte allmählich diese Frucht der Forschung und als Lavoisier mit seinen großen Entdeckungen hervortrat, als die Zusammensetzung der Luft und der Kohlensäure bekannt wurden, da war auch die Zeit der Reife für Ingenhousz' Theorie der Ernährung da. Was er bisher nur unbestimmt formulieren konnte, ließ sich in klare Worte fassen, was Ingenhousz im Jahre 1796 in einem Buche „Über Ernährung der Pflanzen und Fruchtbarkeit des Bodens" that. Die Zersetzung der Kohlensäure in den grünen Blättern durch das Sonnenlicht ist in dieser Schrift entwickelt und begründet und dieses kleine Werk erhebt den Namen des Autors unter diejenigen, welche man mit Bewunderung nennt. Klar und überzeugend findet sich in Ingenhousz Darlegung ausgesprochen, daß die Blätter die Ernährungsorgane der Pflanzen seien, daß die Blätter die atmosphärische Kohlensäure zersetzen, um den Kohlenstoff der Pflanze anzueignen, während der Sauerstoff ausgestoßen wird.

Denkt man an die ganze Vegetation der Erde, so muß die Sauerstoffproduktion der Pflanzen eine ganz beträchtliche sein.

Schon eine Staude, wie die Sonnenrose, welche im Laufe eines dreimonatlichen Sommers ca. 2000 gr Trockensubstanz herstellte, zersetzte dabei praeter propter 3483 gr Kohlensäure, wobei sie den gesamten Sauerstoff derselben aushauchte. Die Menge dieses Sauerstoffs beträgt bei der genannten, doch immerhin kleinen Pflanze 2533 gr oder 1772 Liter. Da bekanntlich die Luft nur durch ihren Sauerstoffgehalt respirabel ist und dieser Gehalt durch die in jeder Sekunde vor sich gehende Atmung vieler Millionen Tiere und Menschen vermindert wird, so findet durch die von Pflanzen bei ihrer Ernährung geleistete Sauerstoffabgabe ohne Zweifel ein zweckmäßiger Ersatz des Sauerstoffs statt. Man hat schon lange auf diese gegenseitige Unterstützung der Pflanzenernährung und tierischen Atmung geachtet. Die Pflanzen können die von den Tieren ausgeatmete Kohlensäure für ihre Ernährung benutzen, die Tiere dagegen ein Nebenprodukt der Pflanzenernährung für ihre Atmung verwenden. Das erscheint sehr zweckmäßig und man übertrieb die Weisheit dieser Einrichtung, indem man immer darauf hinwies, daß hier der eigentliche Angelpunkt der Bedeutung der Pflanzen für die Tiere und umgekehrt läge. Schon in einem früheren Abschnitt ist betont worden, daß es ein Irrtum ist, zu glauben, gerade soviel Kohlensäure wie die Pflanzen gebrauchen, werde ihnen durch den Atmungsprozeß der Tiere geliefert. Es sind, wie erwähnt, noch ganz andere Kohlenstoffquellen für die Pflanzen vorhanden. Ähnlich ist es mit der Meinung, daß die Pflanzen durch ihre allerdings gar nicht unbedeutende Sauerstoffproduktion die Aufgabe lösten, die Atmosphäre stets in respirabelem Zustande zu erhalten. Veranschlagt man die gesamte Menschheit in runder Zahl auf 1000 Millionen, so brauchen diese jährlich für ihren Atmungsprozeß $^{8}/_{10}$ Kubikmeilen Sauerstoff und wenn die Menschheit den gesammten Sauerstoff der Atmosphäre vollständig aufzehren könnte, so würde ihr dazu noch immer der erkleckliche Zeitraum von 2 451 000 Jahren bleiben. Wenn die Menschheit von dem Sauerstoffkapital, welches

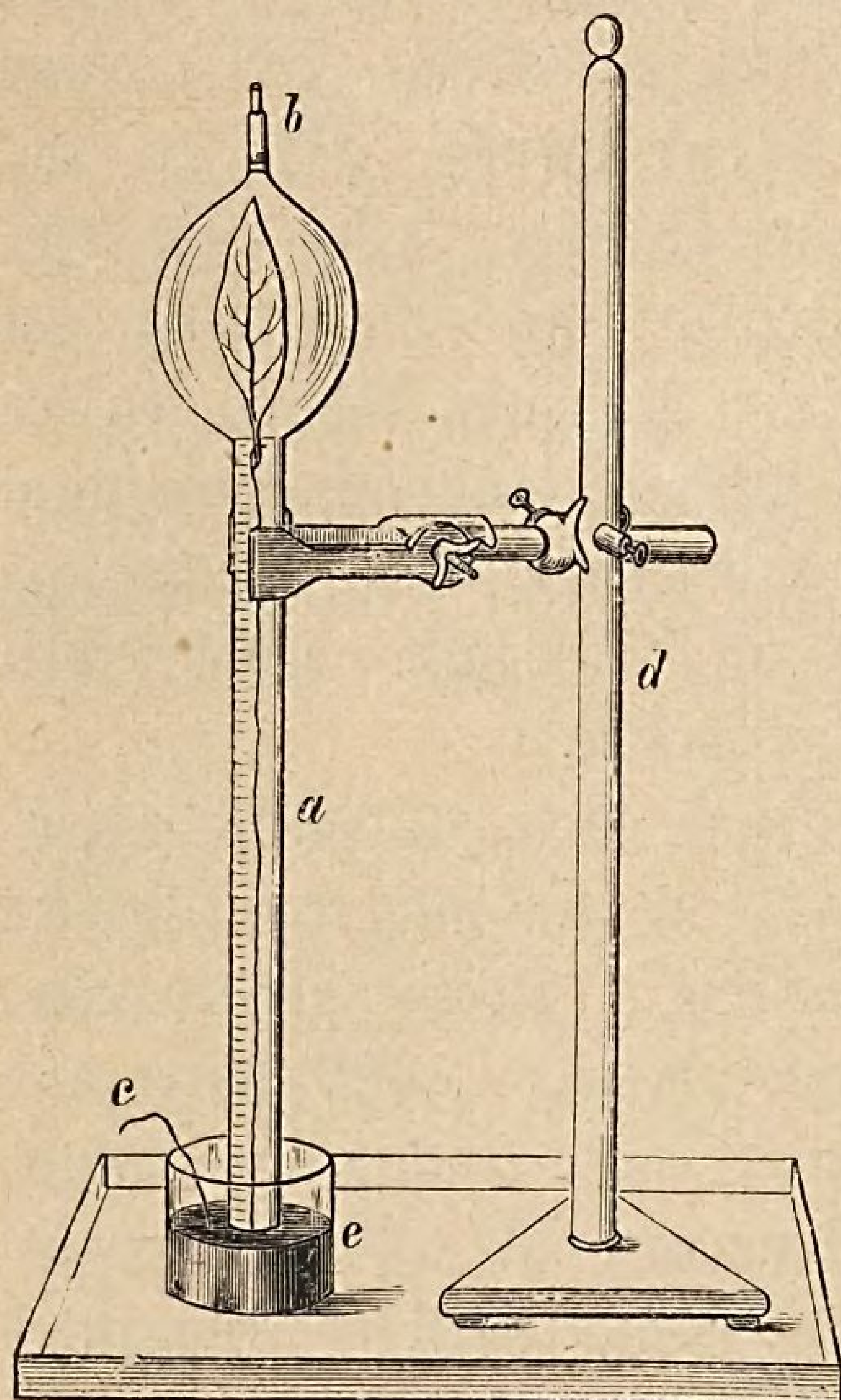
in der Atmosphäre deponiert ist, zunächst $^1/_{10}$ Prozent verbrauchen wollte, so könnte sie davon 10000 Jahre zehren. Und wenn auch durch tierische Atmung und alle anderen Oxydationsprozesse neunmal soviel Sauerstoff verbraucht würde als von Menschen, so hätte die Atmosphäre doch erst in 1000 Jahren 1 Prozent Sauerstoff verloren. So ist denn der Anteil der Pflanzen an der Erhaltung der Atmosphäre im Zustande der Brauchbarkeit für die tierische Respiration ein verhältnismäßig geringer, jedenfalls die Meinung, die Pflanzen lieferten immer soviel Sauerstoff wie die Tiere brauchten, eine irrige. Die wahre Bedeutung der Pflanzenwelt liegt darin, daß sie imstande ist, aus Kohlensäure und Wasser, also aus unorganischen Verbindungen organische Substanz zu bilden, welche der Tierleib zu seiner Nahrung bedarf, da er selbst nicht imstande ist, wie die Pflanze aus unorganischem Material seine Körpersubstanz zu fabrizieren. Die Bedeutung der Pflanzen für die Tiere liegt also in ihrer Kohlenstoffgewinnung, nicht in der Sauerstoffabgabe.

Das Symptom der Sauerstoffabgabe von grünen Pflanzenteilen im Sonnenlichte ist allerdings nur ein indirekter Beweis der Kohlensäurezersetzung im Chlorophyll. Überzeugender wäre es jedenfalls, wenn man das Verschwinden der Kohlensäure aus der Umgebung einer assimilierenden Pflanze nachweisen könnte. Es ist möglich, diesen Beweis experimentell zu führen, nur bedürfen wir dazu eines anderen, etwas komplizierteren Apparates als den obenbenutzten. (Fig. 11.)

Das graduierte Glasrohr ist oben birnförmig erweitert, um ein Blatt aufnehmen zu können. Es wäre bei diesem Versuche eben so unnötig als unzweckmäßig eine vollständige Pflanze zu nehmen. Trennt man durch einen scharfen Schnitt ein Blatt von der Pflanze, so bleibt dasselbe trotzdem lebendig und kann unter günstigen Bedingungen sogar oft auffallend lange lebend erhalten werden. Das abgetrennte Blatt setzt seine Thätigkeit der Kohlensäurezersetzung fort, wenn ihm Licht und Kohlensäure

geboten wird. Ein Blatt läßt sich leicht in den oberen Teil des Absorptionsrohres bringen, indem man es zusammenbiegt und mit einem Stabe in die Erweiterung hinaufschiebt. Um den Blattstiel bindet man einen feinen Draht, welcher durch die Röhre a hinabgeht und durch das Quecksilber e nach außen tritt. Dieser Draht hat nur den Zweck beim Beschluß des Versuches das Blatt herausziehen zu können ohne den Apparat zu verändern.

Fig. 11.



Apparat zum Nachweise der Kohlensäurezersetzung. a) ein graduiertes oben birnförmig erweitertes Absorptionsrohr, in welchem das assimilierende Blatt sich befindet. b) Verschluß durch einen Kautschukschlauch mit Glasstab. e) Quecksilberwanne.

Der Glasapparat wird durch das Stativ d in senkrechter Lage gehalten und die ganze Zusammenstellung steht aus Gründen der Vorsicht, um das eventuelle Verschütten von Quecksilber aufzuhalten in einem Untersatz. Ist das Blatt in den Apparat gebracht, so wird das Quecksilberniveau eingestellt, wobei man zur Verbindung mit einem Saugapparat das Röhrchen b benutzt, welches schließlich durch ein Glasstäbchen verschlossen wird. Um das Blatt vor den schädlichen Quecksilberdämpfen zu schützen, läßt man einige Tropfen Wasser in dem Rohr a aufsteigen, welche die Quecksilberkuppe bedecken.

Damit ist der Apparat aufgestellt und der Versuch kann beginnen. Es handelt sich darum, dem Blatte Kohlensäure darzubieten. Man läßt also aus einem Kohlensäureapparate eine Quantität gewaschener Kohlensäure in das Rohr treten und setzt, nachdem man die nötigen Ablesungen gemacht, den Apparat den

Sonnenstrahlen aus. Das Blatt beginnt seine Thätigkeit und zersetzt einen Teil der im Rohr befindlichen Kohlensäure. Untersuchen wir nach Verlauf einer bestimmten Zeit das Gasgemenge im Rohr, so findet man, daß die Kohlensäure sich vermindert hat. Die Menge läßt sich natürlich ganz genau feststellen, wir unterlassen hier die Mitteilung dieser mit zahlreichen Ablesungen Berechnungen, Korrektionen verbundenen Methode, da es sich hier nur um eine Vorstellung handelt, wie der Versuch angestellt wird. Auf eine Thatsache muß dagegen noch hingewiesen werden, welche nach Beendigung des Versuches auffällt. Es hat sich nämlich das Volumen des Gases in unserem Glasapparat gar nicht geändert, obgleich doch ein Teil der eingeschlossenen Kohlensäure von dem Blatte verbraucht worden ist. Das Volumen des Gases hätte sich also verkleinern müssen, was sofort durch das Steigen des Quecksilbers im Rohr a angezeigt worden wäre.

Zur Aufklärung dieses scheinbaren Widerspruches müssen wir uns erinnern, daß wenn die Pflanze eine bestimmte Menge Kohlensäure aufnimmt, dafür Sauerstoff abgegeben wird und der von unserem Blatte abgegebene Sauerstoff ist natürlich im Glasrohr eingeschlossen geblieben. Dennoch bleibt der ganz unveränderte Stand der Quecksilbersäule bemerkenswert und ist geeignet, uns mit einer wichtigen Thatsache bekannt zu machen. Die Unveränderlichkeit des Gasvolumen sagt nämlich aus, daß gerade ebensoviel Sauerstoff von der Pflanze ausgeschieden wie Kohlensäure aufgenommen wurde. Dies ist in der That der Fall und der hundertfach mit verschiedenen Pflanzen wiederholte Versuch hat stets dieselbe Konstanz des Gasvolumens ergeben. Die Erkenntnis, daß bei der Assimilation dem Volumen nach ebensoviel Sauerstoff abgeschieden wird wie Kohlensäure aufgenommen wurde ist für die Assimilationstheorie von Wichtigkeit und wird später noch wieder berührt werden.

Bei allen Experimenten über die Zersetzung der Kohlensäure ist es das Chlorophyll, was man nicht aus den Augen lassen darf. Stets hat man sich zu erinnern, daß nur mit

grünen, chlorophyllhaltigen Organen die Experimente gelingen können. Würde man die Versuche mit chlorophylllosen Pflanzenteilen wiederholen, so würde man vergeblich auf Sauerstoffabscheidung oder Kohlensäureaufnahme warten. Chlorophylllose Pflanzenteile assimilieren nicht, Wurzeln oder buntgefärbte Blumenblätter können keine Kohlensäure zersetzen. Es giebt Pflanzen, denen sogar in allen ihren Teilen das Chlorophyll vollständig fehlt. Das sind die Schmarotzerpflanzen, beispielsweise die Kleeseide und das ganze Heer der Pilze. Mit dem Chlorophyll geht diesen Pflanzen aber auch das Vermögen ab, Kohlensäure zu zersetzen. Sie sind nicht imstande, aus Kohlensäure und Wasser ihre Pflanzensubstanz zu bilden. Ihre Ernährungsweise ist eine ganz andere als die chlorophyllhaltiger Pflanzen, sie ernähren sich ähnlich wie die Tiere von Kohlenstoffverbindungen, welche schon Bestandteile eines Organismus waren und erlangen dieselben, indem sie als Schmarotzerpflanzen lebenden Pflanzen oder Tieren ihre Nahrung entziehen, wodurch sie natürlich deren Existenz bedrohen und vernichten; oder sie begnügen sich mit den Substanzen, welche nach dem Tode anderer Organismen unbenutzt daliegen und indem sie sich dieselben zu nutze machen werden sie Fäulnisbewohner und Fäulniserreger.

Bei der Beurteilung, ob Teile oder ganze Pflanzen Chlorophyll enthalten, hat man einige Vorsicht zu gebrauchen. Wenn man allgemein behaupten darf, grüne Pflanzenteile enthalten Chlorophyll, so ist es nicht immer der Fall, daß andersgefärbte kein Chlorophyll enthalten. Freilich kann man sich bei gefärbten Blüten mit dem bloßen Augenschein begnügen, bei Blättern aber würde eine andere Färbung noch keinen Chlorophyllmangel beweisen. Es giebt eine Anzahl Pflanzen mit schön rotgefärbten Blättern, die trotz ihrer roten Farbe ebenso chlorophyllhaltig sind, wie grüne Blätter. Dahin gehört z. B. die bekannte Blutbuche und die roten Varietäten der Haselnuß und Berberize, ferner die in Teppichbeeten so häufig kultivierten Coleusarten, mit rotgefleckten oder ganz roten Blättern. Solche Blätter ent-

halten Chlorophyll, die grüne Farbe ist durch einen roten Zellsaft verdeckt, der sich in den Oberhautzellen jener Blätter befindet.

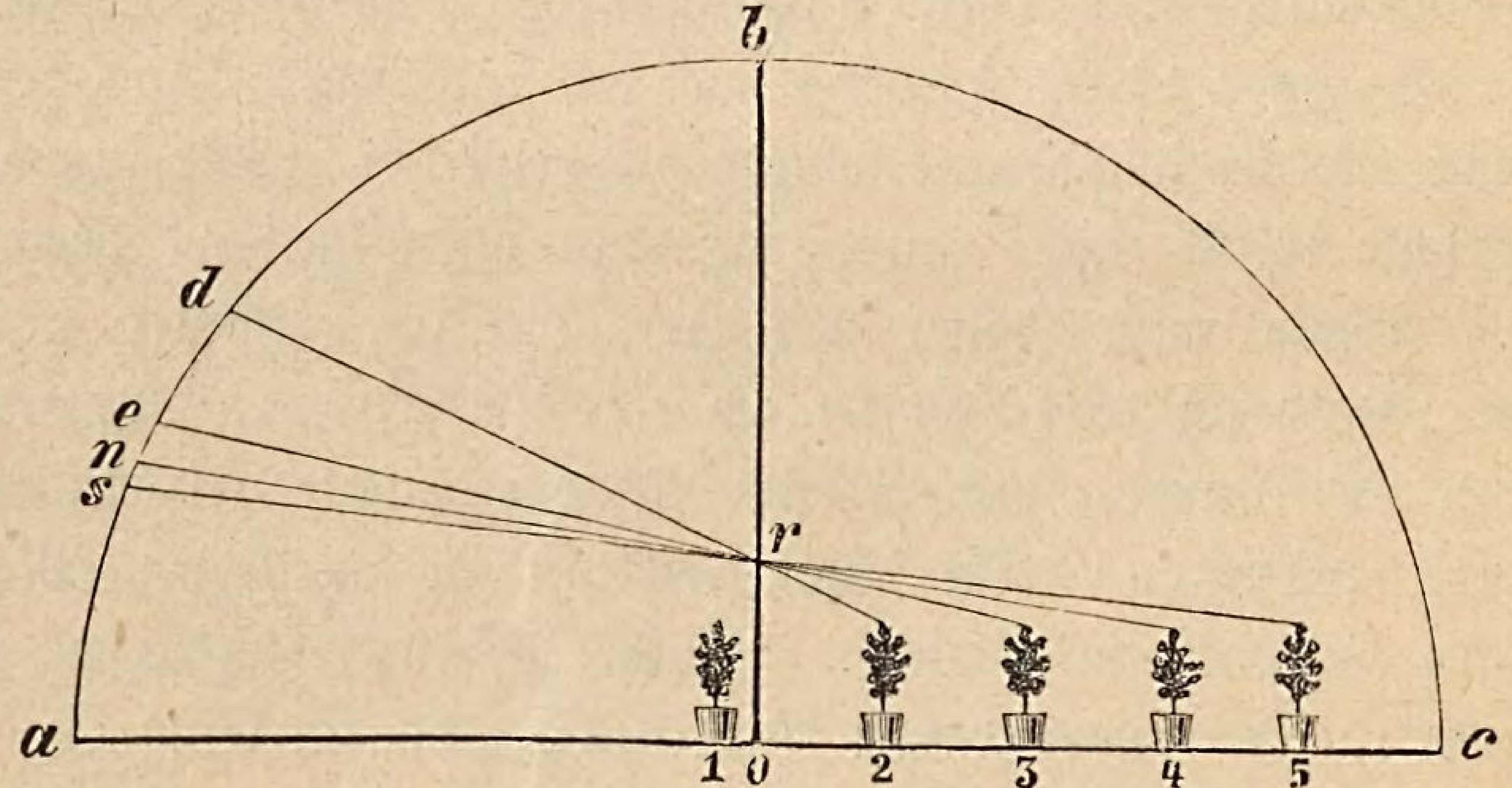
Die Bedeutung des Lichtes für die Assimilation.

Wenn wir nochmals auf den Vorgang der Kohlensäurezersetzung im Chlorophyll zurückblicken und die Bedingungen ins Auge fassen, welche für den Beginn und den Fortgang dieses wichtigen Ernährungsvorganges gefordert werden, so ist es das Licht, welches trotz seiner rätselhaften Wirkungsweise in seiner unbedingten Notwendigkeit hervortritt. Entziehen wir einer Pflanze das Licht, so hört die Assimilation auf, das Chlorophyll kann nicht funktionieren, das Material der Kohlensäure, wenn auch vorhanden, kann nicht verarbeitet werden. Es genügt aber nicht jedes Licht, sondern nur ein intensives Tageslicht ist imstande, die Kohlensäurezersetzung zu bewirken. Abgeschwächtes Tageslicht reicht nicht aus, um die Assimilation hervorzurufen. Wenn man daher Pflanzen, die im Zimmer gezogen werden, statt an das Fenster an eine entferntere Zimmerwand placiert, so können ihre Blätter keine normale Assimilationsthätigkeit entfalten. Die Blattfunktion ist durch den Mangel kräftigen Lichtes unterdrückt. Solche Pflanzen schleppen, ohne zu sterben, ein kümmerliches Dasein hin, da sie keine oder nur wenig Substanz bilden können. Ihr Leben fristen sie von dem Stoffkapital, welches schon ihr Eigentum war, ehe man sie in ungünstige Beleuchtungsbedingungen brachte. Dies Material zehren sie auf und gehen dann an Nahrungsmangel langsam zu Grunde. Die Pflanzen verhungern, weil ihnen das Licht fehlt. Daher kommt es denn auch, daß im Zimmer, namentlich auf Blumentischen kultivierte Pflanzen im allgemeinen einen langsamen Niedergang erkennen lassen und die häufig von Blumenliebhabern gehörte Klage, daß ihre Pflanzen trotz aller Pflege in durch Vorhänge oft nur dämmerigen Zimmern nicht gedeihen wollten, hat ihre Ursache in der *schlechten Beleuchtung* der Gewächse. Eine wie geringe Menge Licht eine Pflanze in der

That erhält, wenn dieselbe vom Fenster entfernt im Zimmer steht, kann man sich leicht durch eine einfache Betrachtung klar machen.

Eine Pflanze, die im Freien wächst, erhält das von der ganzen einen Halbkugel des Himmels zurückgestrahlte Licht und wird bei Sonnenschein direkt von den Sonnenstrahlen getroffen. Stellen wir nun eine Pflanze aus dem Freien ans Fenster, so ist sie dadurch auf halbe Lichtration gesetzt. Sie kann höchstens die Hälfte des Lichtes erhalten, wie die Freilandpflanze. Außerdem erhält die Pflanze, wenn sie an einem nach Norden liegenden Fenster steht, gar kein direktes Sonnenlicht. Die kleine Zeich-

Fig. 12.



Darstellung der Abnahme des Lichtes für eine Pflanze die vom Fenster entfernt wird.

nung, Fig. 12, wird überzeugender als Worte darthun, in welchem Maße die Lichtmenge für eine Pflanze abnimmt, die man allmählich vom Fenster entfernt. Der Halbkreis a c stellt die halbe Himmelskugel dar, o r ist die Fensterhöhe. Außen vor dem Fenster stehend würde die Pflanze das von dem Teil a b des Himmels reflektierte Licht erhalten, hinter dem Fenster innerhalb des Zimmers in die Stellung 2 gerückt, ist die disponible Lichtmenge nur die von a d zurückgestrahlte und wird immer geringer, je mehr die Entfernung vom Fenster zunimmt. Man sieht aus dieser Konstruktion, die selbstverständlich keine mathematisch genaue ist, wie irrig die oft von Laien verfochtene Meinung ist,

die Pflanzen seien in einem Wohnzimmer doch sicherlich hell genug beleuchtet. Es sind von Detleffen *) genaue Berechnungen über diesen Punkt angestellt worden, aus denen sich ergiebt, daß schon in einer Entfernung von 1 Meter vom Fenster (ein Abstand, in dem man gewöhnlich Blumentische placiert findet) nur $^1/_5$ von der Lichtmenge zur Pflanze gelangt, welche sie im Freien erhalten würde. So geringe Lichtquantitäten reichen für chlorophyllhaltige Pflanzen nicht aus, um eine nur halbwegs natürliche Ernährung zu ermöglichen.

Als allgemeine Regel gilt es daher, daß für die Kohlensäurezersetzung eine Intensität des Lichtes gefordert wird, wie sie im Sommer an sonnigen Tagen vorhanden ist, was ja schon die gewöhnliche Erfahrung bestätigt. In einem Sommer, der wenig sonnige Tage bringt, werden unsere Kultur- und Gartenpflanzen in merklicher Weise geschädigt, abgesehen davon, daß an sonnenlosen Tagen auch die Temperatur geringer ist. Nun erleiden alle Regeln Ausnahmen und so darf es nicht wunder nehmen, daß es Pflanzen giebt, welche sich nicht nur mit einem schwächeren Licht begnügen, sondern deren Lebensenergie durch eine intensivere Beleuchtung gestört wird. Man bezeichnet solche Pflanzen deshalb auch geradezu als Schattenpflanzen. Einige Beispiele lassen sich aus allgemein bekannten Gewächsen leicht herausgreifen, es gehören hierher z. B. der Sauerklee, Oxalis acetosella, der Adlerfarn, Pteris aquilina u. a. Man braucht sich nur zu erinnern, wo diese Pflanzen zu finden sind, um das geringere Lichtbedürfnis derselben begreiflich zu finden. Die genannten Pflanzen wachsen am Boden des Waldes, beschattet von dem Laubdach der Bäume, durch welches nur ein gedämpftes Licht sie erreichen kann. Die Organisation, die Reizbarkeit dieser Pflanzen hat sich den Beleuchtungsverhältnissen angepaßt, welche ihr natürlicher Aufenthaltsort mit sich bringt. Es ist ganz begreiflich, daß, wenn man eine Schattenpflanze starker Beleuchtung

*) E. Detleffen, Abnahme der Helligkeit im Innern eines Zimmers. Bd. III d. Arbeiten d. Bot. Instituts zu Würzburg.

aussetzt, die Lebensordnung derselben durch die vollständige Änderung der äußeren Bedingungen ebenso gestört werden muß, wie wenn man eine Tropenpflanze in die Kälte des Nordens verpflanzt. Es giebt aber, selbstredend hier nicht weniger wie überall in der Natur, graduelle Unterschiede. Aber es sind eben nur Ausnahmefälle im Gegensatz zum Gros der Pflanzen, denen ein helles Licht für ihre Ernährung ganz unentbehrlich ist.

Das Lichtbedürfnis der Pflanzen wird noch durch andere Thatsachen illustriert. Es ist nämlich ein hochmerkwürdiges Faktum, daß das Licht nicht nur das Chlorophyll zu seiner Assimilationsthätigkeit veranlaßt, sondern daß es auch zur Ausbildung und Erhaltung des Chlorophylls nötig ist. Wenn wir einen Samen im Freien in die Erde pflanzen, so keimt derselbe in der Dunkelheit unter der deckenden Erdschicht. Die Keimwurzel dringt tiefer in den Boden ein, die junge Knospe aber durchbricht die Erddecke und breitet die jungen Blätter dem Lichte entgegen. Die Blätter des Pflänzchens sind grün, sie enthalten Chlorophyll. — Bedecken wir einen zweiten eingepflanzten Samen während seiner Keimung mit einer undurchsichtigen Hülle, etwa mit einem festgefugten Holzkasten, so wird man, nachdem auch dies Keimpflänzchen sich entwickelt hat, einen merkwürdigen Unterschied von dem ersten, in voller Beleuchtung erwachsenen, bemerken. Abgesehen davon, daß die Blätter unserer Dunkelpflanze kleiner sind, ist die ganze Pflanze gelb. Ihre Blätter enthalten gar kein Chlorophyll, wie man schon mit bloßem Auge sieht. Der Lichtmangel, den die Blätter zu erleiden hatten, ist der Grund, weshalb sich kein Chlorophyll gebildet hat. So lange die Pflanze im Dunkeln bleibt, wird sie es auch niemals thun, und da ihr mit dem Chlorophyll die Fähigkeit fehlt, sich zu ernähren, wird sie nach einiger Zeit absterben. Kommt man diesem Zeitpunkt zuvor und bringt die chlorophylllose Pflanze an die Sonne, so bemerkt man schon nach einigen Stunden, wie die Blätter einen schwach grünlichen Schimmer annehmen, allmählich

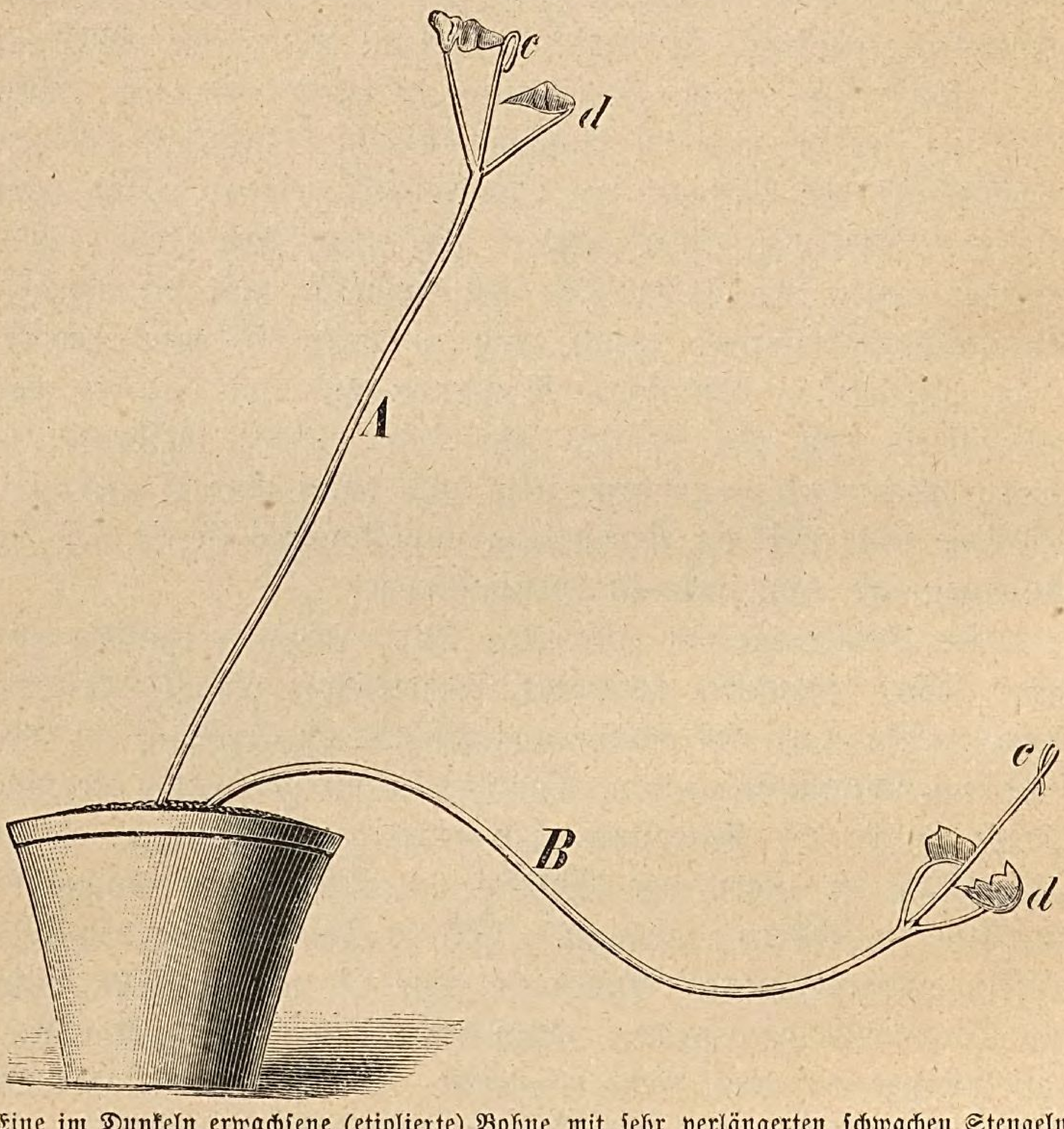
dunkler und endlich dunkelgrün werden. Damit ist die Pflanze dem Leben zurückgegeben, sie ist imstande sich zu ernähren und wenn das Zurückbringen an das Licht früh genug geschah, so kann sie zu einer vollständig gesunden und normalen Pflanze heranwachsen. Alle grünen Pflanzen sind also Lichtpflanzen im eminentesten Maße, das Licht muß erst das ernährende Chlorophyllkorn erschaffen, ehe dieses wiederum unter der Wirkung der Lichtstrahlen seine Ernährungsthätigkeit beginnen kann. Pflanzen, welche man im Dunkeln erwachsen ließ und die den obenbeschriebenen Mangel an Chlorophyll zeigen, nennt man etiolierte Pflanzen. Man begreift aber unter dem Namen Etiolement außer dem Fehlen des Chlorophylls auch die übrigen Krankheitserscheinungen, welche man an diesen Pflanzen bemerkt. Diese bestehen in abnormem Wachstum und sind dadurch charakterisiert, daß alle Blätter sehr klein bleiben, während die Stengelglieder ganz abnorm lang und dabei schwach und hinhinfällig sind, weil die Verholzung unvolkommen ist, so daß die Pflanzen sich nicht aufrecht halten können.

Die Abbildung der etiolierten Bohne mag, verglichen mit einer, jedem bekannten, normalen Gartenbohne, eine Vorstellung von dem Aussehen der Etiolierungserscheinung bezüglich der Gestaltungsabnormitäten geben. Von den letzeren geben auch die etiolierten Triebe der Kartoffeln eine deutliche Anschauung, die ja bekanntlich oft gegen den Wunsch der Besitzer von Kartoffelvorräten in Kellern auftreten. Die im Dunkeln aus den Kartoffeln ausgewachsenen etiolierten Sprosse erkennt man nicht als Kartoffelsprosse wieder, wenn man damit eine grüne Kartoffelpflanze auf dem Felde vergleicht. Solche Unterschiede ruft das Vorhandensein und der Mangel des Lichtes hervor.

Bei im Dunkeln keimenden Pflanzen kommt das Chlorophyll nicht zur Ausbildung. Stellt man dagegen eine mit grünen Blättern versehene Pflanze tagelang in einen finstern Raum, so verliert dieselbe ihr Chlorophyll, welches bei gänzlichem Mangel des Lichtes zerstört wird. Die Blätter werden gelb und

fallen nach einiger Zeit ab, an der fortwachsenden Pflanze werden alle Symptome des Etiolements bemerkbar. Nach allem diesem könnte es auffallen, daß man nicht auch in der Natur häufig etiolierte Pflanzen findet, da ja des Nachts alle Pflanzen sich

Fig 13.



Eine im Dunkeln erwachsene (etiolierte) Bohne mit sehr verlängerten schwachen Stengeln und klein gebliebenen gelben Blättern d.

im Dunkeln befinden. Allein diese Zeit ist nur sehr kurz. In der Zeit, wo die Pflanzen grüne Blätter tragen, im Sommer, ist die Nacht ja nicht einmal 12 Stunden lang. Diese Spanne des Lichtmangels hat noch keinen Einfluß. Um die Pflanzen

etiolieren zu lassen, muß die Dunkelheit mehrere Tage lang andauern. Man findet aber doch wohl einmal in Gärten und Parks Gesträuche und Bäume, welche zu etiolieren beginnen, weil sie von anderen Bäumen zu stark beschattet sind, und können empfindliche Pflanzen langsam zu Grunde gehen, wenn diese Umstände, wie es meistens der Fall ist, nicht beachtet werden.

Bei der ganz allgemeinen Notwendigkeit der Lichtstrahlen für die Entstehung des Chlorophylls ist eine Ausnahme besonders beachtenswert, welche eine ganze Abteilung des Pflanzenreiches in dieser Beziehung macht. Die Keimblätter der Nadelhölzer sind nämlich imstande, auch im Finstern Chlorophyll zu bilden. Was diese Pflanzen in den Stand setzt, von allen anderen Gewächsen abzuweichen, ist unbekannt und bildet eine höchst auffallende Ausnahme von einer ganz allgemeinen Regel.

Die Geschichte der alten Kulturvölker und ihrer Religionen weist Zeugnisse genug auf, wie früh der Mensch dem Gefühl für die Bedeutung des belebenden Lichtes Ausdruck verlieh. Die Sonne war der Gott, der in ewigem Laufe auf der Himmelsbahn, mit seinen Strahlen die Erde beschenkte. Das Gefühl, das sich nach Sonnenschein sehnt, ist auch heute noch dasselbe, aber die Naturforschung hat uns zur klaren Einsicht in die Abhängigkeit nicht nur unseres Lebens, sondern allen Lebens von der Sonne erhoben. Das Studium der pflanzlichen Ernährungsvorgänge giebt uns die Gewißheit, daß ohne Sonnenstrahlen sich kein Pflanzenleben auf unserem Erdball entwickelt hätte. Aber auch sonst würde sich nichts auf ihm regen und öde und tot würde er durch den Weltraum rollen. Alles tierische Leben, daß in seiner unendlichen Mannigfaltigkeit in Millionen Tiergestalten sich äußert, ist ja ohne die Pflanzen gar nicht denkbar. Die Tiere besitzen nicht die Fähigkeit, aus unorganischen Verbindungen ihre Körpersubstanz zu bilden. Nur die Pflanze kann aus Kohlensäure und Wasser organische Substanz erzeugen, welche nicht nur zunächst ihren eigenen Körper bildet, sondern auch

den Tieren zur Nahrung dient. Was sind die massigen Körper unserer wiederkäuenden Haustiere anders als umgewandelte Pflanzensubstanz. Die Pflanzenfresser dienen den auf Fleischnahrung angewiesenen Tieren zur Speise und es ist nur eine scheinbare Umgehung der Pflanzen, wenn eine große Anzahl von lebendigen Wesen auch ohne Pflanzen zu fressen sich ernährt. Und so ist auch jeder Teil unseres eigenen menschlichen Körpers im Grunde nichts als Pflanzensubstanz, Pflanzensubstanz, die das Sonnenlicht im Chlorophyllkorn erzeugte. Das vom Sonnenlicht durchleuchtete Chlorophyllkorn ist die Garantie alles Lebens, darin ist die großartige Aufgabe ausgedrückt, welche dem Pflanzenreich auf unserem Planeten zugeteilt ist.

Wenn man gewöhnlich vom Sonnenlicht redet, so versteht man darunter das helle, weiße Licht, welches in unserem Auge keine Empfindung einer besonderen Farbe erzeugt. Wir lassen bei der gewöhnlichen Beobachtung außer acht, daß das weiße Licht der Sonne nur durch Zusammenwirken von Strahlen verschiedener Art entsteht. Durch das Prisma können wir das weiße Licht in seine verschiedenen Strahlen zerlegen und empfinden deren besondere Eigenschaften dadurch, daß wir sie als verschiedene Farben wahrnehmen. Für gewöhnlich haben wir keinen Grund, uns daran zu erinnern, daß das Licht aus verschiedenen Strahlen zusammengesetzt ist. Wenn aber bei einer wissenschaftlichen Entdeckung das Sonnenlicht als die Ursache eines bestimmten Effektes erkannt wird, so darf man doch nicht vergessen, daß diese Ursache eine zusammengesetzte ist. Es bedarf einer genauen Untersuchung, ob der Effekt nicht etwa nur durch einen Teil dieser Ursache veranlaßt ist. So knüpft sich auch an die Beobachtung der Kohlensäurezersetzung im Sonnenlicht die Frage, ob die Strahlen verschiedener Wellenlänge sämtlich, oder ob nur bestimmte die Assimilation im Chlorophyll bewirken.

Lassen wir ein Büschel Sonnenstrahlen durch ein Glasprisma auf eine weiße Fläche fallen, so spreizen nach dem Austreten aus dem Prisma die Strahlen verschiedener Brechbarkeit aus-

einander und wir erhalten das bekannte langgezogene Bild des Spektrums, die sogenannten Regenbogenfarben. Fragen wir nun nach der Möglichkeit überhaupt, ob von den einzelnen Spektralfarben besondere Wirkungen zu erwarten sind, so sind allerdings verschiedene Eigenschaften der verschiedenen Strahlen schon durch Thatsachen bewiesen. Die Zersetzung der Silbersalze, ein Vorgang, der in der Photographie zu einem bekannten technischen Zwecke geleitet wird, wird durch die blauen und violetten Strahlen des Spektrums hervorgerufen, ebenso wie die unter Explosion stattfindende Vereinigung von Chlor und Wasserstoff im Sonnenlicht. Die gelben, roten und grünen Strahlen des Spektrums besitzen nur in äußerst geringem Grade diese Fähigkeit und man pflegt aus diesem Grunde die blauen und violetten Strahlen als chemische Strahlen zu bezeichnen.

Kein Zweifel, daß bei den genannten chemischen Prozessen nur bestimmte Strahlen des Sonnenlichtes wirksam sind und bei der Neigung, die wir besitzen, Analogieschlüsse zu machen, liegt nichts näher, als die chemischen Prozesse der Kohlensäurezersetzung und der Bildung organischer Substanz im Chlorophyll ebenfalls dem blauen und violetten Licht, den chemischen Strahlen zuzuschreiben. Wie voreilig diese Meinung wäre, lehrt uns die Geschichte der Wissenschaft. Die Erforschung der Wirkung farbiger Strahlen auf die Assimilation hat das gerade Gegenteil von dieser Voraussetzung ergeben: gerade die Strahlen geringerer Wellenlänge, vorzugsweise die gelben, welche auf Silbersalze so gut wie gar keine Wirkung haben, verursachen den Verlauf des Assimilationsprozesses im Chlorophyll.

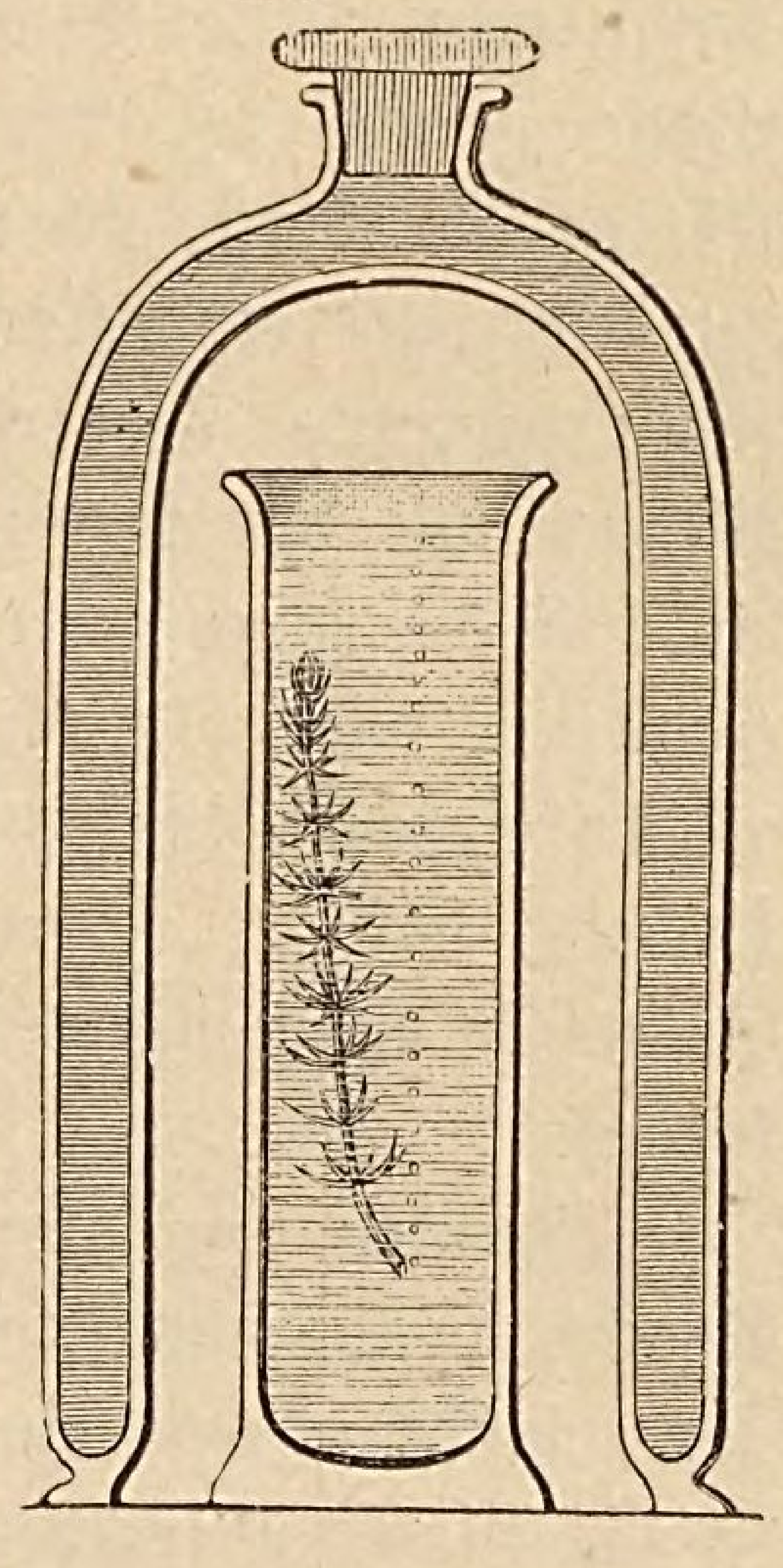
Wir wollen auch hier nicht nur berichten, sondern das Experiment reden lassen. Wir wollen Pflanzen statt mit weißem Licht ausschließlich mit Strahlen bestimmter Farbe beleuchten und die Wirkung auf die Assimilation beobachten. Die Methode, aus dem Strahlengemenge, welches die Empfindung des weißen Sonnenlichtes auf unser Auge hervorbringt, Strahlen einer bestimmten Farbe zu gewinnen, ist bekannt. Wenn das weiße

Sonnenlicht durch ein gefärbtes Medium hindurchgeht, so wird ein Teil der Strahlen von den Molekülen des Mediums zurückgehalten. Eine rein blaue Flüssigkeit hält die roten und gelben Strahlen zurück, deshalb erscheint sie uns blau, ein rotes Glas, durch welches wir hindurchblicken, läßt uns nur deshalb alles rot erscheinen, weil nur die roten Strahlen des weißen Lichtes hindurchtreten können, die übrigen absorbiert werden. Auf diese Weise lassen sich leicht durch Einschaltung farbiger Medien aus dem weißen Sonnenlichte bestimmte Strahlen erlangen. Unserer Frage gemäß, ob die chemischen oder die roten, gelben und grünen Strahlen des Spektrums die Assimilation bewirken, haben wir zwei Medien aufzusuchen, die eine möglichst vollkommene Trennung der beiden Strahlengattungen ermöglichen. Es eignen sich dazu zwei leicht in Lösung herzustellende Substanzen, Kupferoxydammoniak und bichromsaures Kali. Kupferoxydammoniaklösung ist eine prachtvoll blaue Flüssigkeit, welche man erhält, indem man eine Lösung von Kupfervitriol mit Ammoniak versetzt. Diese blaue Lösung absorbiert die rotgelbe Hälfte des Spektrums und läßt nur die blauvioletten und einen Theil der grünen Strahlen durchgehen. Die wässerige Lösung von bichromsaurem Kali dagegen löscht alle blauen und violetten Strahlen aus und gestattet nur den roten, orangen, gelben und einem Teil der grünen den Durchgang. Durch das chromsaure Kali vernichten wir also alle chemischen Strahlen, während durch das Kupferoxydammoniak gerade diese gewonnen werden. Nachdem hiermit auf die Mittel aufmerksam gemacht ist, schreiten wir zum Versuch selbst. Eine Pflanze, welche in farbigem Licht assimilieren soll, muß von der farbigen Lösung umgeben werden, was auf folgende Weise erreicht wird.

Der Glascylinder in unserer Figur 14 ist mit kohlensäurehaltigem Wasser gefüllt, in dem sich eine Pflanze, diesmal ein längerer Sproß des gemeinen Tannenwedels, Hippuris vulgaris befindet. Wenn wir diesen Cylinder in die Sonne stellen, so beginnt die Assimilation und der Sauerstoffstrom entweicht an

der Schnittfläche. Wir bedecken den Cylinder mit einer Glasglocke, welche doppelwandig ist und zwischen ihren Wänden die farbige Flüssigkeit enthält, welche durch den Tubus oben eingefüllt wird. Nun ist die Pflanze von einem Mantel farbiger Lösung umgeben. Nur eine Bedingung hat sich dadurch für die Pflanze geändert. Das Wasser ist dasselbe geblieben, auch die Sonnenstrahlen scheinen in derselben Intensität, aber es fehlen darin gewisse Strahlen des weißen Lichtes, welche von der Lösung absorbiert werden und die Pflanze nicht treffen. Der Effekt dieser Änderung der Bedingungen ist der, daß die Energie der Assimilation sich ändert, jenachdem wir die Pflanze mit einer rotgelben oder mit einer blauen Lösung umgeben.

Fig. 14.



Um diese Änderung wahrzunehmen und die Stärke der Assimilation im weißen, rotgelben oder blauen Licht vergleichen zu können, bedürfen wir eines Maßes und als solches dient uns der austretende Blasenstrom des Sauerstoffs. Es ist einleuchtend, daß je energischer die Assimilation vor sich geht, desto mehr Sauerstoff abgeschieden wird. Bei kräftiger Kohlensäurezersetzung steigen von der Schnittfläche des Sprosses die Blasen in schneller Reihenfolge an die Oberfläche des Wassers, ihre Zahl ist in einem bestimmten Zeitabschnitt eine größere, läßt die Assimilation nach, so wird sofort auch der Blasenstrom langsamer und die Zahl der in der Zeiteinheit erscheinenden Blasen verringert sich.

Beobachtet man zunächst den Gasblasenstrom im weißen Licht, indem man den Cylinder ohne Bedeckung den Strahlen der Sonne aussetzt und zählt die in einer Minute aufsteigenden

Gasblasen, so wird man eine Zahl erhalten, die natürlich von der Individualität der Versuchspflanze abhängig ist. Die Pflanze wird nun mit der rotgelben Glocke bedeckt, welche vollkommen durchsichtig ist und die Beobachtung des Blasenstromes nicht hindert. Trotz dieser Veränderung entweicht der Sauerstoffstrom in fast unveränderter Schnelligkeit. Nur unmerklich hat die Zahl der Gasblasen abgenommen. Zählt man im weißen Licht etwa 23 Blasen in der Minute, so würde man im orangefarbigen die Zahl 21 finden, also eine nur äußerst geringe Verlangsamung konstatieren. Die Pflanze assimiliert also unter der rotgelben Glocke gerade so, wie wenn sie in der Sonne stände. Wir nehmen die Glocke ab und beobachten, daß der Blasenstrom beim Zurückbringen der Pflanze in das weiße Sonnenlicht nur die geringe Beschleunigung wiedererlangt und wir können noch so oft die Pflanze mit der farbigen Glocke bedecken oder sie davon befreien, bis auf die ganz geringe Änderung nimmt die Assimilation im rotgelben, wie im weißen Licht in gleicher Weise ihren Fortgang. Dieser Erfolg unseres Experimentes liefert den unumstößlichen Beweis, daß die roten und gelben Strahlen des Sonnenlichtes allein imstande wären, die Assimilation im Chlorophyll zu besorgen.

Bedecken wir nun unsere assimilierende Pflanze mit einer Glocke, welche eine blaue Lösung von Kupferoxydammoniak enthält, so sehen wir einen ganz anderen Effekt eintreten. Kaum ist die Glocke übergedeckt, so wird der Blasenstrom äußerst langsam, ja wenn die blaue Lösung etwas konzentriert ist, hört er wohl ganz auf. Es ist gerade als ob wir die Pflanze beschattet, als ob wir sie mit einer undurchsichtigen Glocke bedeckt hätten. Dennoch ist dies nicht der Fall. Die Sonnenstrahlen gehen durch die blaue Glocke hindurch, aber es fehlen die Strahlen, welche wir eben als so äußerst wirksam für die Assimilation erkannt haben. Daß dieses Aufhören des Blasenstromes kein Zufall ist, davon überzeugen wir uns sofort, indem wir die blaue Glocke abheben. Im Moment, wo das weiße Sonnenlicht

die Pflanze wieder trifft, beginnt die Assimilation in ihrer früheren Lebhaftigkeit, um nach wiederholtem Zurückbringen in das blaue Licht wieder sistiert zu werden.

Die verschiedenen Strahlen, welche das weiße Sonnenlicht enthält, erweisen sich also als von ganz verschiedener Bedeutung für die Pflanze. Die blauen und violetten Strahlen leisten für die Kohlensäurezersetzung sehr wenig und sind von geringem Wert für die Assimilationsthätigkeit der Pflanzen, während die roten, orangefarbigen und gelben Strahlen fast die ganze Leistung übernehmen. Diese Thatsache ist deshalb besonders überraschend, weil man ohne das Experiment glauben konnte, daß die wegen ihrer chemischen Leistungen besonders beachteten blauen und violetten Anteile des weißen Lichtes auch die Kohlensäurezersetzung in der Pflanze bewirkten. Das Experiment lehrt das Gegenteil. Die chemischen Prozesse der Assimilation im Chlorophyll werden durch die rotgelben Strahlen bewirkt. Man besitzt deshalb auch nicht mehr die Berechtigung, die blauen und violetten Strahlen des Spektrums ausschließlich als chemische Strahlen zu bezeichnen.

Das Ergebnis dieser wichtigen Versuche hat insofern in der Praxis Berücksichtigung zu finden, als man nicht, wie früher häufig üblich, Gewächshäuser mit blauen Glasfenstern versehen darf. Dadurch würde man gerade die Strahlen abschneiden, welche die Pflanzen für ihre Ernährung unbedingt verlangen.

In der Weise, wie sie eben beschrieben wurden, sind die Experimente über die Wirkung verschiedenfarbigen Lichtes auf die Pflanzen von Sachs*) angestellt und sie erlangten ihre Sicherheit besonders durch die ebenso bequeme als sichere Methode des Gasblasenzählens, welche besonders deshalb geeignet ist, weil sie die vergleichende Beobachtung in so kurzer Zeit ermöglicht, daß die äußeren Bedingungen der Beleuchtung und der Temperatur sich nicht ändern und außerdem den unschätz-

*) Sachs, Wirkungen des farbigen Lichtes auf Pflanzen. Botanische Zeitung 1864 S. 353.

baren Vorteil gewährt, mit einer und derselben Pflanze experimentieren zu können, was von der größten Wichtigkeit ist, da nicht zwei Pflanzenindividuen einander gleichen.

Will man den gasometrischen Weg betreten*) und durch Messung der zersetzten Kohlensäure die verschiedene Wirkung der differenten farbigen Strahlen konstatieren, so bedient man sich des schon den Lesern bekannten Apparates, der auf Seite 56 abgebildet und beschrieben worden ist. Während er dort benutzt wurde, die Assimilation im weißen Licht zu beweisen, kann man ihn selbstverständlich leicht mit einem gefärbten Medium umgeben und wird dann ein ganz verschiedenes Resultat erhalten, jenachdem der Apparat z. B. mit einer Kaliumchromatglocke oder einer Kupferoxydammoniakglocke bedeckt wird. Auch in dieser Modifizierung ist die Wirkung farbigen Lichtes auf die Assimilation experimentell studiert worden und der ganz bedeutende Unterschied der zersetzten Kohlensäuremengen veranschaulicht die Wirkung der verschiedenfarbigen Strahlen aufs schlagendste. Setzen wir die Gasabscheidung im weißen Sonnenlicht = 100, so ist die zersetzte Kohlensäuremenge

hinter einer Lösung von bichromsauren Kali = 88,6
„ „ „ „ Kupferoxydammoniak = 7,6

eine ganz ungeheure Differenz zu Gunsten der rotgelben Hälfte des Spektrums.

Die Versuche über die Wirkung farbigen Lichtes sind noch weiter ausgedehnt worden, indem man die Wirkung der einzelnen Strahlen des Sonnenspektrums studierte. Es stellte sich dabei heraus, daß vor allen anderen besonders die gelben Strahlen des Spektrums am energischsten die Kohlensäurezersetzung bewirken und allein fast soviel leisten, wie die übrigen Strahlen zusammengenommen.

Von den natürlichen Lichtquellen ist das Sonnenlicht die einzige, für die Assimilation in Betracht kommende. Das Licht

*) Vgl. Pfeffers Untersuchungen in Bd. I. der Arbeiten des Bot. Instituts zu Würzburg.

des Mondes, welches nur $^1/_{300000}$ der Intensität des Sonnenlichts besitzt, ist viel zu schwach, um Kohlensäurezersetzung bewirken zu können. Daran schließt sich die Frage nach der Leistungsfähigkeit künstlichen Lichtes. Lampenlicht und Gaslicht kann allerdings, wenn es eine erhebliche Intensität besitzt, Assimilation hervorrufen, die aber im Vergleich mit der Wirkung des Sonnenlichts gering ist. Auch das elektrische Licht bewirkt Kohlensäurezersetzung, doch ebenfalls nur in geringem Maße. Die Verwertung des elektrischen Lichtes bei der Pflanzenkultur, deren ungeheure Vorteile vor einiger Zeit in der Tagespresse angepriesen wurden, ist demnach vorerst nicht zu erwarten. Lichtbedürftige Pflanzen zeigen in elektrischer Beleuchtung die Wachstumsabnormitäten etiolierter Pflanzen und werden also in ihren Lebensvorgängen bedeutend gestört. Da das elektrische Licht gerade die leuchtenden Strahlen des Spektrums, also gerade diejenigen, welche wir als die wirksamsten für die Assimilation kennen gelernt haben, nur in geringer Menge enthält, so ergiebt sich schon daraus, daß von einer Vertretung des natürlichen Lichtes durch das elektrische heute wenig zu erwarten ist.

Das Produkt der Kohlensäurezersetzung.

Rufen wir uns, und man kann dies nicht oft genug thun, in das Gedächtnis zurück, was mit der Kohlensäurezersetzung in den Blättern erstrebt werden soll. Kohlenstoff soll gewonnen werden für die kohlenstoffhaltige Pflanzensubstanz, welche die Zellhäute, den lebendigen Zellinhalt, das Protoplasma bildet. Man würde aber einen der größten Irrtümer begehen in dem Glauben, daß sogleich aus Kohlensäure und Wasser Zellhaut, Holzfaser und Protoplasma entstände. Diese Erzeugnisse von ebenso verschiedener als komplizierter Molekularstruktur bilden sich nicht unmittelbar aus Kohlensäure und Wasser.

Wie der Mensch durch seine Arbeit zunächst ein Kapital ansammelt und dasselbe erst allmählich in die verschiedensten Bedürfnisse seines Lebens umsetzt, so erzeugt die Pflanze durch

die Assimilation ein Kapital einer und derselben Substanz, welche erst nach und nach Umwandlungen verschiedener Art erleidet und zum Aufbau der Pflanzenorgane verwendet wird. Diese Substanz ist die Stärke. Im Chlorophyll entsteht aus Kohlensäure und Wasser unter Einfluß des Sonnenlichtes und unter Abspaltung von Sauerstoff Stärke.

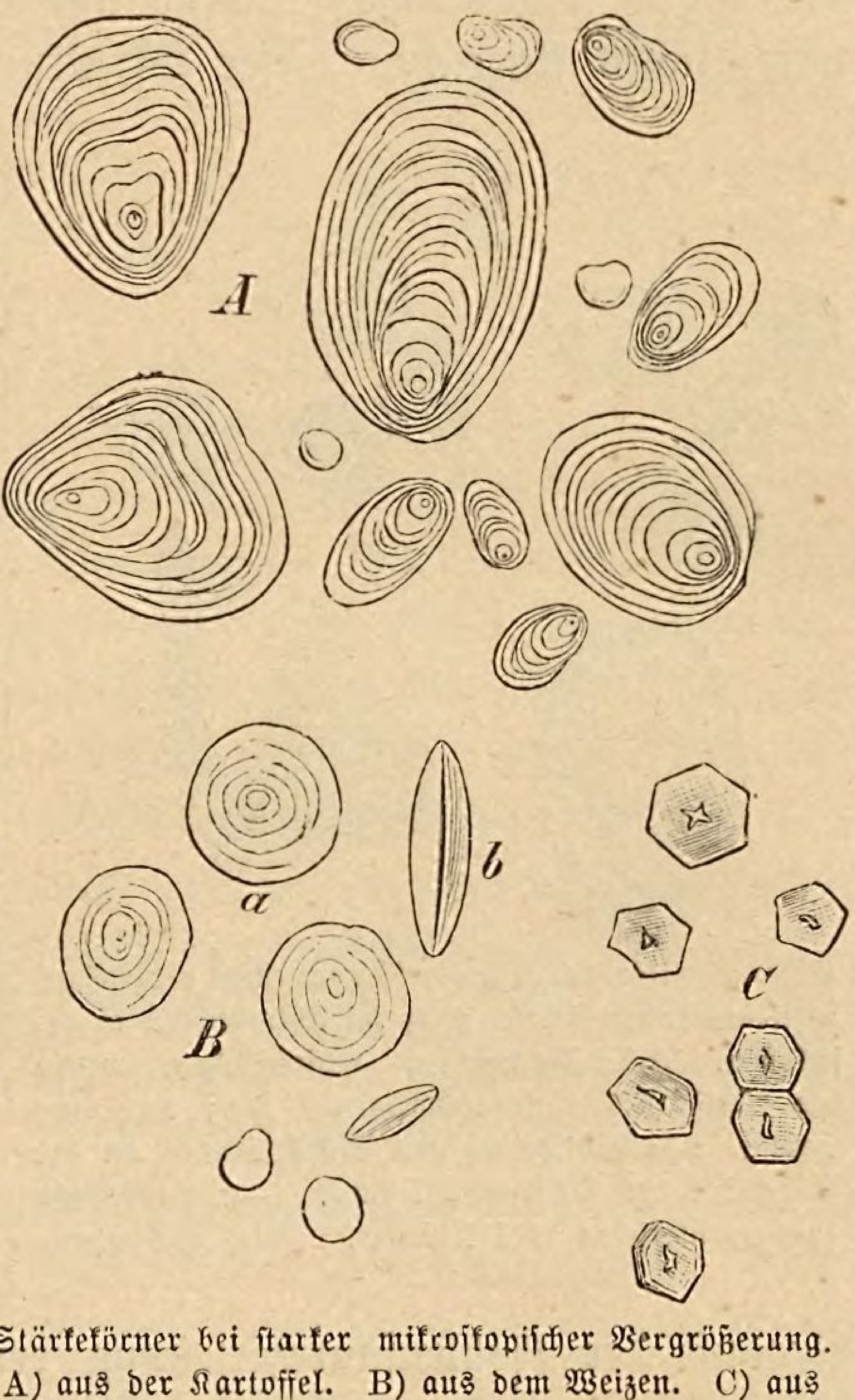
Zerreibt man Kartoffeln auf einem Reibeisen zu einem Brei und bringt denselben unter einen Wasserstrahl, so fließt das Wasser milchig-trübe ab und längere Zeit vergeht, bis der Brei vollkommen ausgewaschen ist. — Bereitet man aus Weizenmehl und Wasser einen steifen Teig und knetet denselben in einem Tuche unter fließendem Wasser, so erhält man ebenfalls eine milchig getrübte Flüssigkeit. Wenn man diese aus Kartoffeln oder aus dem Weizenmehl erhaltenen Flüssigkeiten in einem Gefäße der Ruhe überläßt, so setzt sich ein weißer zusammenhaftender Niederschlag zu Boden, von dem man das darüberstehende klare Wasser leicht abgießen kann. Der Bodensatz ist Stärke, die aus den durch das Zerreiben zerrissenen Zellen der Kartoffeln oder aus dem Weizenmehl ausgewaschen wurde. Die pulverförmige Substanz, welche als „Mehl" jedermann bekannt ist, besteht im wesentlichen aus Stärke und die enormen Mehlquantitäten, welche der Mensch als Nahrung konsumiert, wurden in grünen Pflanzenblättern erzeugt. Alles Mehl entstand nur in Chlorophyllkörnern als Produkt der Kohlensäurezersetzung im Sonnenlicht und wenn man Stärke auch in chlorophyllfreien Pflanzenorganen, wie z. B. der unterirdischen Kartoffelknolle findet, so kommt das daher, daß die Stärke von den grünen Blättern in diese unterirdische Knolle durch den Stamm hinabgewandert ist, ein Vorgang, der später ausführlich besprochen werden wird.

Trocknet man den auf die eben beschriebene Weise erhaltenen Stärkeniederschlag, so hat man ein weißes, feines Pulver vor sich, an dem ohne weiteres nichts Bemerkenswertes wahrzunehmen ist. Mit Hilfe des Mikroskopes gewinnt man aber einen Ein-

blick in einen Reichtum von Gestalten und in die komplizierten Organisationsverhältnisse der Stärke, von denen der Anblick eines Häufchens Mehl nicht das Geringste ahnen läßt.

Das Stärkemehl besteht aus unzähligen wohlumgrenzten, mikroskopischkleinen Körnern, die eine ganz bestimmte Form und Struktur besitzen, so zwar, daß sich die Forschung auf das eingehendste mit diesen kleinen Gebilden gefaßt hat. Obgleich die Stärkekörner aller Pflanzen farblose, im Umriß rundliche Körnchen sind, so besitzen sie doch in manchen Fällen ganz besondere Formeigentümlichkeiten, welche ihnen einen ganz auffallenden Charakter verleihen, so daß man imstande ist, aus dem Anblick eines einzigen Kornes zu entscheiden, welcher Pflanze dasselbe entstammt. Solche Fälle illustriert unsere Abbildung Fig 15, welche einige besonders charakteristische Stärkeformen zur Anschauung bringt.

Fig. 15.

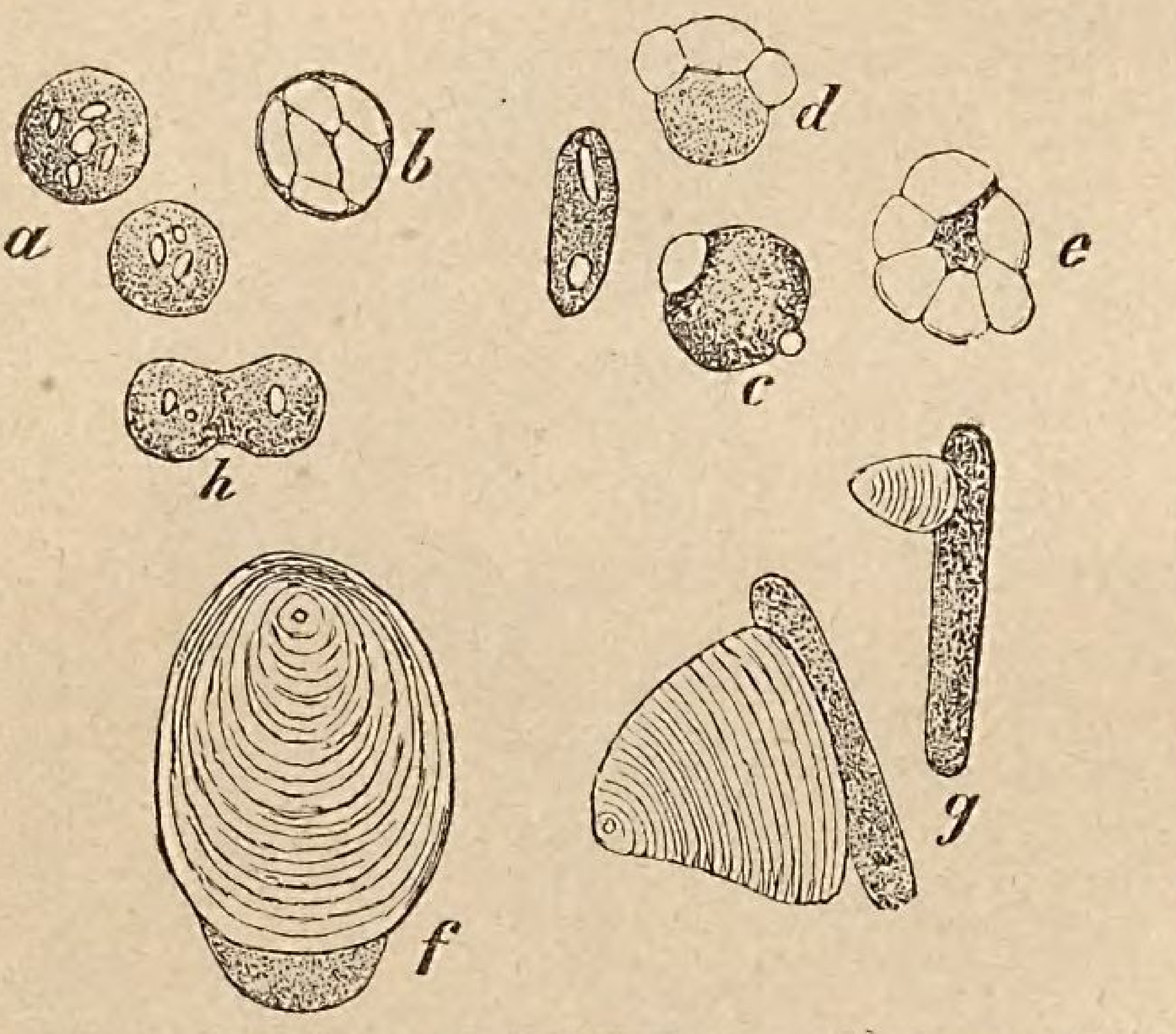


Stärkekörner bei starker mikroskopischer Vergrößerung. A) aus der Kartoffel. B) aus dem Weizen. C) aus dem Maiskorn.

Es ergiebt sich daraus, daß die Stärkekörner an Größe und Form sehr verschieden sind. Die Stärkekörner der Kartoffel sind sehr groß im Vergleich mit anderen und überhaupt besonders

leicht von anderen Stärkearten durch ihr Aussehen zu unterscheiden. Ein näheres Eingehen auf den Bau der Stärkekörner, mit dessen Molekularstruktur sich einer der scharfsinnigsten Botaniker C. v. Nägeli auf das eingehendste befaßt hat, um in die Erkenntnis des molekularen Baues organisierter Bildungen überhaupt einzudringen, würde uns hier zu weit führen. Ein wesentliches Anzeichen dieser Struktur ist aber auch in unserer Skizze ausgedrückt und besonders an den Stärkekörnern der Kartoffel zu bemerken. Jedes Korn besitzt nämlich eine vielfache Schichtung; zahlreiche Schichten laufen um einen gemeinsamen Kern, welcher bei der Kartoffelstärke immer dem einen Pol des Kornes näher, also exzentrisch gelagert ist. Das Zustandekommen dieser Schichtung hängt mit der Wachstumsart der Stärkekörner zusammen.

Fig. 16



Chlorophyllkörner mit Stärkekörnern (stark vergrößert) a) kleine Stärkekörner ganz im Chlorophyll eingeschlossen. b) herangewachsene Stärkekörner, welche die Masse des Chlorophyllkornes ganz verdrängt haben. c—e Entstehung von Stärkekörnern an der Oberfläche des Chlorophyllkornes. f—g Entstehung der excentrischen Stärkekörner. (Nach Schimper).

Diese Angaben sollen nur zunächst die Bekanntschaft mit dem direkten Produkt der Kohlensäurezersetzung vermitteln und eine richtige Vorstellung von den Stärkekörnern, die ja wegen ihrer mikroskopischen Kleinheit im gewöhnlichen Leben nicht zur Anschauung kommen, geben. Zu diesem Zwecke haben wir die Stärkekörner aus einer Kartoffel und aus dem Weizen deshalb genommen, weil in den Knollen und Samen die Stärkekörner besonders groß sind, größer als an ihrem eigentlichen Entstehungsort, in den Chlorophyllkörnern der Blätter.

Ist das Chlorophyll der Ort der Kohlensäurezersetzung und ist das Produkt, welches bei diesem Prozeß entsteht, in der That Stärke, so verlangen wir, daß sich die Stärke auch in den Chlorophyllkörnern findet und in irgend einer Weise sich nachweisen läßt. Dies ist in der That leicht möglich, da das Mikroskop das Hilfsmittel zur direkten Wahrnehmung der Stärke im Chlorophyll bietet. Beobachtet man eine chlorophyllhaltige Zelle genau, so gelingt es gewöhnlich schon ohne weiteres in den grünen Chlorophyllkörnern kleine, farblose, glänzende Körnchen zu bemerken, wie z. B. in den Chlorophyllkörnern unserer Fig. 2 und in den isoliert gezeichneten Chlorophyllkörnern a Fig. 16.

Diese Körnchen sind Stärke, welche das Chlorophyllkorn gebildet hat. Im allgemeinen sind die Stärkekörnchen sehr kleine Körperchen, doch thut die Kleinheit ihrem Nachweis in den Chlorophyllkörnern keinen Eintrag, da sich, wenn die einfache mikroskopische Beobachtung einmal nicht genügende Sicherheit bieten sollte, durch ein chemisches Reagens die vollste Gewißheit erbringen läßt, ob ein Chlorophyllkorn Stärke enthält. Das Jod bildet mit der Stärke ein indigoblaue Verbindung. Bringt man zu Stärke einige Tropfen einer verdünnten Lösung von Jod in Jodkalium, so färbt sich jedes Korn momentan dunkelbau. Vermittelst dieser Reaktion lassen sich die kleinsten Stärkekörner entdecken. Um ein ganz sicheres Resultat zu gewinnen, muß man jedoch vor der Einwirkung des Jod eine vorbereitende Behandlung der Chlorophyllkörner eintreten lassen. Der grüne Farbstoff des Chlorophylls würde bei sehr lleinen Stärkekörnchen die blaue Färbung verdecken, dann aber färbt sich auch die Substanz des Chorophyllkorns selbst mit Jod und zwar braun, so daß die Stärkereaktion nicht gesehen werden würde. Man zieht deshalb den zu untersuchenden Pflanzenteil oder die schon hergestellten mikroskopischen Schnitte mit Alkohol aus und befreit die Chlorophyllkörner von ihrer grünen Färbung. Bei ganzen Pflanzenteilen, z. B. Blättern, setzt man dieselben in einem verschlossenen Gefäß mit Alkohol so lange der Sonne aus, bis sie vollkommen

entfärbt sind. Die mikroskopischen Schnitte dieses Materials behandelt man eine Zeitlang mit Kalilauge und wäscht die Schnitte aus, neutralisiert etwa vorhandenes Kali mit Essigsäure und legt die Schnitte, nachdem auch die Essigsäure wieder ausgewaschen, in die Jodlösung. Es wird durch diese Behandlung die Chlorophyllsubstanz zerstört, während die Stärkekörner in ihrer ursprünglichen Lage zurückbleiben und nun durch ihre blaue Färbung deutlich ins Auge fallen. Diese etwas umständliche Methode des Stärkenachweises im Chlorophyll wird man selten anzuwenden haben, da gewöhnlich die bloße mikroskopische Beobachtung genügt. Die Methode war von besonderer Wichtigkeit zu einer Zeit, als man erst die Stärke im Chlorophyll entdeckt hatte, und es sich darum handelte, ihre ausnahmslose Gegenwart zu konstatieren. Viel anschaulicher läßt sich im großen durch die Jodreaktion demonstrieren, daß grüne Blätter voll von Stärke stecken. An einem sonnigen Tage braucht man nur einige Blätter etwa um die Mittagszeit abzuschneiden, bis zur Entfärbung in einem Gefäß mit Alkohol stehen zu lassen und nachdem man sie einige Minuten in kochendes Wasser gelegt hat, in eine verdünnte Jodlösung zu bringen. Die Stärke in den Blättern färbt sich dunkelblau und ihre enorme Menge im Blatte giebt sich dadurch zu erkennen, daß das Blatt selbst nicht blau, sondern fast schwarz erscheint.

Eine besonders bedeutsame Eigenschaft der Stärkekörner ist die, zu wachsen. Hat sich ein Stärkekorn im Chlorophyll aus Kohlensäure und Wasser gebildet, so ist es klein und oft kaum wahrnehmbar. Ein oder mehrere punktförmige Körnchen liegen dann in der Masse des Chlorophyllkornes eingebettet, wie dies in Fig. 16 a der Fall ist. Das Chlorophyllkorn produziert im Lichte neue Stärkesubstanz und lagert sie an das entstandene Körnchen an. Das Volumen des Stärkekornes nimmt zu und da das Chlorophyllkorn nicht in gleichem Maße mitwächst, so verdrängt das Körnchen allmählich dessen Substanz, so daß schließlich ein oder mehrere Stärkekörner das ganze Chlorophyll-

korn ausfüllen. An Stelle des Chlorophyllkornes findet sich dann schließlich die Stärke, die nur noch von einem dünnen Überrest des ersteren überzogen ist. Vielfach geschieht es, daß die Stärkekörner nicht im Zentrum des Chlorophyllkornes, sondern nahe unter der Oberfläche sich bilden. Man vergleiche das Chlorophyllkorn c in der Fig. 16. Bei ihrem Wachstum wachsen die Stärkekörner in diesem Fall aus dem Chlorophyllkorn heraus, im übrigen verschwindet dabei ebenso die Masse des Chlorophyllkornes, so daß schließlich ein Haufen Stärkekörner übrig bleibt (d e Fig. 16). Solche an der Oberfläche des Chlorophyllkorns entstandene Stärkekörner werden wegen ihrer einseitigen Anheftung ungleichmäßig vom Chlorophyllkorn ernährt und aus diesem Grunde bekommen sie den exzentrischen Bau wie die Stärkekörner der Kartoffel. In Fig. 16 f u. g sind einige exzentrische Stärkekörner in Verbindung mit ihren Chlorophyllkörnern abgebildet, wozu bemerkt wird, daß der exzentrische Kern des Stärkekornes immer vom Chlorophyll abgewendet liegen muß, weil eben nur an der Chlorophyllseite neue Stärkesubstanz angelagert wird, wodurch der Kern immer weiter nach außen rückt. Es ließe sich ein ganzes Kapitel mit weiteren Formeigentümlichkeiten und Gestaltungen der Stärkekörner ausfüllen. Ein so eingehendes Studium der Formationen dieser interessanten Substanz ist nicht der Zweck dieses Buches, ebensowenig wie die genauere Verfolgung der molekularen Verhältnisse beim Wachstum des Stärkekorns. Das Vorstehende soll nur dazu dienen, den Leser aufmerksam zu machen, daß das Produkt des chemischen Prozesses der Assimilation eine organisierte Substanz ist, daß Kohlensäure und Wasser nicht nur zu einer Verbindung von komplizierter chemischer Formel zusammentreten, sondern daß diese Verbindung zugleich eine Struktur besitzt, welcher den organisierten Bildungen eigentümlich ist. Es möge aber auch bei dieser Gelegenheit in kurzem die chemische Zusammensetzung der Stärke erwähnt werden. Die Stärke enthält die Elemente ihrer Generatoren, der Kohlensäure und des Wassers, sie besteht aus Kohlenstoff, Wasserstoff

und Sauerstoff, woraus sich ergiebt, daß diese drei Elemente wahre Nährstoffe der Pflanze sind, weil sie für die Stärkebildung nicht entbehrt werden können. Auf eine bestimmte Menge Kohlenstoff enthält die Stärke Sauerstoff und Wasserstoff in demselben Verhältnis, wie dieselben im Wasser vorhanden sind, nämlich auf je 2 Atome Wasserstoff 1 Atom Sauerstoff. In der bequemen chemischen Schreibung wird die Zusammensetzung der Stärke durch die Formel $C_6 H_{10} O_5$ ausgedrückt. Es ist also als ob 6 Atome Kohlenstoff (C_6) mit 5×1 Molekül Wasser ($5 H_2 O$) verbunden wären und aus dem Grunde hat man die Stärke und andere verwandte Stoffe mit denselben Verhältnissen elementarer Zusammensetzung z. B. die Zuckerarten, die Cellulose ꝛc. Kohlehydrate genannt. Es ist dies jedoch ein bloßer Name, mit dem nicht etwa bezüglich der chemischen Structur etwas Näheres ausgesagt werden soll.

Die Thatsache, daß die Stärkekörner mikroskopisch kleine Gebilde sind, brachte es mit sich, daß ihre Entdeckung im Chlorophyll von der Entwickelung des Mikroskopes abhängig und der Neuzeit vorbehalten war. Hugo von Mohl, der bedeutendste Phytotom unseres Jahrhunderts, entdeckte 1837 die Stärkeeinschlüsse im Chlorophyll. Es blieb dies aber eine einfache Thatsache, von deren Zusammenhang mit der Kohlensäurezersetzung man noch keinerlei Ahnung hatte. Die bedeutende Entdeckung dieses Zusammenhanges, welche dem Assimilationsvorgang den Schlußstein vollen Verständnisses zufügte, verdankt die Wissenschaft Sachs*), der Ende der fünfziger Jahre die Ernährungsvorgänge der Erforschung unterwarf und durch seine Studien über die Stoffwanderung in der Pflanze zur Hypothese über die Bedeutung der Stärke im Chlorophyll gelangte, deren Richtigkeit durch die Versuche, welche ergaben, daß nur unter den Bedingungen Stärke entsteht, unter denen die Kohlensäurezersetzung stattfindet, auf das glänzendste bestätigt wurde. Damit war der eigentliche Ort

*) Sachs, Übersicht der Ergebnisse der neuern Untersuchungen über das Chlorophyll. Flora 1862.

der Kohlensäurezersetzung im Blatt aufgefunden, das Chlorophyll als das Assimilationsorgan bezeichnet und das wahrnehmbare Produkt der Assimilation nachgewiesen. In Verbindung mit Ingenhousz' Entdeckung der Sauerstoffabscheidung der grünen Blätter und der durch den berühmten Genfer Gelehrten Théodore de Saussure experimentell bestätigten Kohlensäurezersetzung machte Sachs' bestimmte Erkenntnis der Stärke als Produkt der Assimilation dies Kapitel der Ernährung zu einem der bestbegründeten und abgerundetsten der ganzen Pflanzenphysiologie.

Die Stärke tritt als erstes sichtbares Produkt der Kohlensäurezersetzung im Chlorophyll auf. Trotzdem ist sie wohl das Endglied einer Reihe von chemischen Prozessen, welche mit der Wechselwirkung von Kohlensäure und Wasser beginnend, schließlich zur Bildung von Stärkemolekülen gelangen. Man darf kaum annehmen, daß Kohlensäure und Wasser unmittelbar zu Stärkemolekülen zusammentreten. Bildungen so komplizierter chemischer und physikalischer Struktur, wie die Stärkekörner es sind, pflegen nicht durch einen einfachen Akt zu entstehen. Trotz dieser Ansicht sind wir jedoch nicht imstande, den chemischen Vorgang der Stärkebildung weiter zu analysieren. Die ganze Entwickelung verläuft so schnell, daß wir mit unseren Hilfsmitteln Zwischenglieder zwischen der Kohlensäurezersetzung und dem Erscheinen des Stärkekornes nicht wahrnehmen können. So wie die Kohlensäurezersetzung beginnt, ist auch schon in ganz kurzer Zeit die Stärke da. Es fehlt auch an jedem Anhaltspunkt für eine Hypothese. Am plausibelsten erscheint es, daß vor der Stärke eine Zuckerart entstehe, obgleich damit der Prozeß nicht besonders vereinfacht wäre. Annahmen von der primären Bildung einfacherer Verbindungen z. B. des Formaldehyds entbehren der Begründung. Die Meinung, daß Formaldehyd das erste Produkt des Zusammentretens von Kohlensäure und Wasser unter Sauerstoffabgabe wäre, erscheint schon deshalb unwahrscheinlich, weil man kaum annehmen kann, daß die Pflanze zur ersten Fixierung des Kohlenstoffs einen so flüchtigen Körper bilde, wie den For-

maldehyd. Man würde dessen Gegenwart, auch wenn er entstünde, wahrnehmen müssen, denn es vergehen immer einige Stunden, wenn man eine stärkefreie Pflanze assimilieren läßt, ehe die erste Stärke nachweisbar ist. Der Formaldehyd müßte also in einem Momente in nachweisbarer Menge anwesend sein und wegen seiner Flüchtigkeit sich schon durch seinen Geruch zu erkennen geben. Genug, es scheint gerade für die primäre Bildung von Formaldehyd als Zwischenglied bei der Stärkebildung wenig Wahrscheinlichkeit vorhanden. Man würde auch durch die Entdeckung eines solchen Zwischenproduktes nicht viel weiter in der Erkenntnis des rätselhaften Vorganges der Kohlensäurezersetzung im Chlorophyll gelangt sein. Denn das eigentliche Rätsel ist eben die Abspaltung des Kohlenstoffs, die Zersetzung der Kohlensäure im Chlorophyllkorn selber. Mit der Entstehung eines Kohlehydrates stimmt die Konstanz des Gasvolumens beim Assimilationsversuch überein. Durch zahlreiche genaue Versuche von Boussingault ist festgestellt, daß ein annähernd gleiches Volumen Sauerstoff für die verarbeitete Kohlensäure bei der Assimilation ausgeschieden wird. Wir haben oben bei der Besprechung der Experimente schon darauf hingewiesen. Dies Gleichbleiben des Gasvolumens stimmt mit der Annahme einer glatten Entstehung eines Kohlehydrates, also der Stärke, überein. Durch eine Formelgleichung läßt sich dies besonders übersichtlich machen:

Kohlensäure	Wasser	Stärke	Sauerstoff

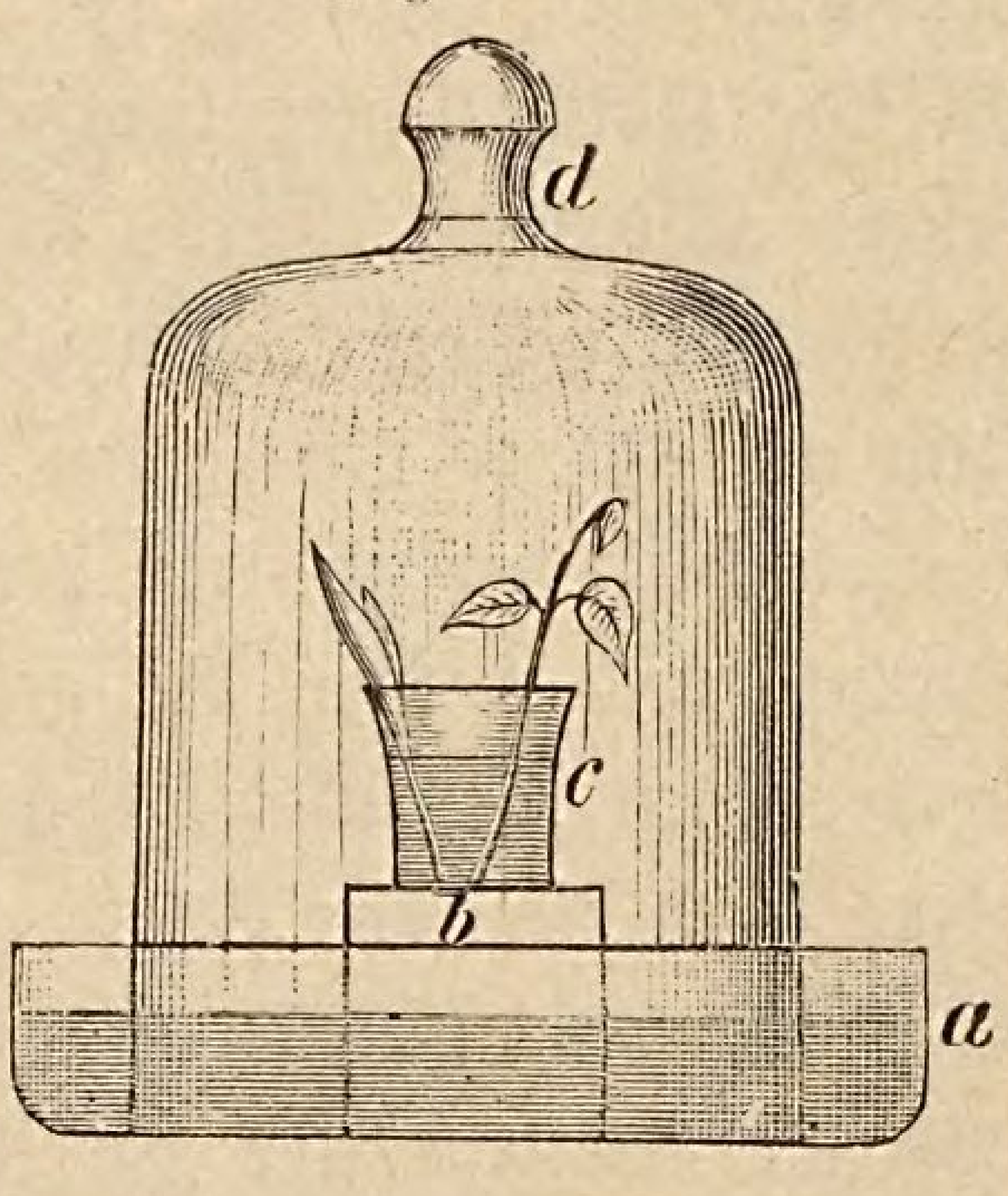
$$12\,CO_2 + 10\,H_2O = 2\,(C_6H_{10}O_5) + 12\,O_2$$

Würde bei der Assimilation ein sauerstoffärmerer Körper, z. B. ein Fett entstehen, so müßte mehr Sauerstoff abgeschieden werden, das abgegrenzte Gasvolumen sich also vergrößern. Sind diese Erwägungen auch von Interesse, so führen doch die theoretischen Erörterungen allein nicht zu einem durchsichtigen Ergebnisse, ob sofort ein Kohlehydrat oder erst etwas anderes entstehe.

Wir halten uns deshalb an das einfache klare Faktum, daß die Stärke thatsächlich das erste wahrnehmbare Produkt der Kohlensäurezersetzung im Sonnenlicht ist und wollen dafür die

experimentellen Beweise dem Leser nicht vorenthalten, da sie ebenso überzeugend wie lehrreich sind. Den einfachen Beweis, daß die Stärke bei der Kohlensäurezersetzung gebildet wird, erblicken wir darin, daß ganz dieselben Bedingungen, welche für die Sauerstoffabscheidung chlorophyllhaltiger Organe vorhanden sein müssen, auch für die Stärkebildung verlangt werden. Diese Bedingungen sind die Gegenwart von Kohlensäure und Wasser und hinreichend intensives Tageslicht. Vor allen Dingen ist die Gegenwart der Kohlensäure ein Erfordernis. Wo keine Kohlensäure vorhanden ist, kann keine Stärke gebildet werden. Setzt man in eine vollkommen kohlensäurefreie Atmosphäre eine chlorophyllhaltige Pflanze dem Licht aus, so bildet dieselbe keine Stärke. Dieser Versuch läßt sich ohne große Schwierigkeit anstellen. Kohlensäurefreie Luft erlangt man, indem man dem durch die Glasglocke d und die Sperrflüssigkeit a Fig. 17 abgegrenzten Luftvolumen die Kohlensäure entzieht. Dies geschieht, indem man als Sperrflüssigkeit konzentrierte Kalilauge in die Schale a einfüllt, welche begierig alle Kohlensäure des Luftvolumens, das übrigens ja nur eine geringe Menge davon enthält, an sich reißt. Unter die Glocke hat man die Versuchspflanze gebracht und der Apparat wird dem Lichte ausgesetzt. Wie sich von selbst versteht, kann man als Versuchsobjekt nicht eine beliebige, dem Freien entnommene Pflanze benutzen. Eine derartige Pflanze hat längere Zeit in kohlensäurehaltiger Luft vegetiert und steckt in allen Organen voll Stärke. Für unseren Versuch bedürfen wir einer Pflanze, welche vollkommen stärkefrei ist. Es braucht nur an Bekanntes erinnert zu werden, um einzusehen, wie man eine

Fig. 17.



vollkommen stärkefreie Pflanze erlangt. Wie wir beim Etiolement erfahren haben, enthalten im Dunkeln erwachsene Pflanzen weder Chlorophyll noch Stärke. Man läßt also einen Samen im Dunkeln keimen und die Keimpflanze so lange heranwachsen, bis alle noch im Samen vorhandene Stärke zur Organbildung verbraucht worden ist. Die Blätter der Keimpflanze sind dann vollkommen stärkeleer. Wäre man darüber noch im Zweifel, so genügt die Jodreaktion zur Überzeugung. Die Pflanze wird entweder in dem Topfe, in dem sie gewachsen, unter die Glocke gebracht oder man schneidet sie ab und stellt sie in ein Glas mit Wasser (c). Kohlensäure kann zur Pflanze von außen nicht gelangen, es wird zwar durch die Atmung der Blätter der Luft innerhalb der Glocke eine kleine Menge Kohlensäure beigemischt, die aber sofort durch die Kalilauge absorbiert wird, so daß das Luftvolumen stets frei von Kohlensäure bleibt. Wenn man nun den Apparat dem Sonnenlicht aussetzt, so wird man bald eine auffallende Veränderung der eingeschlossenen Blätter bemerken. Dieselben enthalten kein Chlorophyll und besitzen die gelbe Farbe etiolierter Blätter, aber nach kurzer Zeit der Belichtung werden sie nun grün und erlangen allmählich die volle Farbe gesunder Blätter. Dies ist die alleinige Wirkung des Lichtes; unsere Versuchsanstellung liefert den Beweis, daß die Kohlensäure für die Entstehung des Chlorophylls unnötig ist. Auch in kohlensäurefreier Luft können Pflanzen ergrünen, wenn sie nur Licht erhalten. Dabei aber bleibt es; die Blätter, welche nun Chlorophyll gebildet haben und genügend beleuchtet sind, werden trotzdem keine Stärke bilden, da die Kohlensäure fehlt. Die Insolation der ergrünten Blätter mag noch so lange andauern, es wird nicht gelingen, mittelst der Jodreaktion auch nur die kleinste Stärkemenge nachzuweisen. Befreien wir die Blätter aus dem Gefängnis der Glasglocke, so werden sie alsbald ihre Thätigkeit beginnen, Kohlensäure zersetzen und nach einigen Stunden schon Stärke enthalten. Nur wo Kohlensäure zersetzt wird, entsteht Stärke, ein schlagender Beweis, daß die Stärke das Produkt der Assimilation ist. Dies wird aber

auch dadurch bestätigt, daß das Licht, ohne welches keine Kohlensäure in grünen Blättern zersetzt wird, für die Stärkebildung notwendig ist. Nach der Entziehung des Lichtes wird nicht nur keine neue Stärke gebildet, sondern die vorhandene wird wieder aufgelöst und aus den Chlorophyllkörnern fortgeführt, um zur Ernährung verbraucht zu werden. So läßt sich, indem man Pflanzen ins Dunkel stellt, aus dem Chlorophyll alle Stärke entfernen und indem man sie ans Licht zurückbringt, die Bildung neuer Stärke wieder veranlassen. Es ergiebt sich aus diesen Versuchen die Folgerung von selbst, daß die roten und gelben Strahlen des weißen Lichtes ebenso wie für die Sauerstoffabscheidung für die Stärkebildung allein in Betracht kommen müssen. Das Experiment bestätigt diese Erwartung und somit ist die Zahl der Beweise eine mehr als zureichende.

Wenn etwas in der Natur geeignet ist, Bewunderung zu erregen, so ist gewiß die Leistung des Chlorophylls dazu angethan. Bedenkt man die ungeheueren Quantitäten von Stärke, welche technisch gewonnen werden, berechnet man die Menge des Mehles der Getreidefrüchte, welche dem Konsum verfallen, so staunt man gewiß, denn diese Massen werden in den mikroskopisch kleinen Chlorophyllkörnern der Pflanzen produziert. Man braucht sich nicht mit dem unbestimmten Gefühle der Großartigkeit dieser Leistung zu begnügen, es lassen sich positive Zahlen anführen, welche für die Arbeit des Chlorophylls ein Maß liefern, wenn auch leider die bezüglichen Versuche noch nicht zahlreich sind.

Wenn wir uns erinnern, daß ein Chlorophyllkorn mikroskopisch klein ist und nur einige tausendstel Millimeter mißt, so erwartet man eine winzige Leistung an Stärkeproduktion und zweifelt dieselbe in bestimmten Zahlen zu erfahren. Bedenkt man, daß in einem Blatt Billionen Chlorophyllkörner liegen, welche alle zusammen dasselbe vollbringen und deren Einzelleistungen sich zu einem Gesamteffekt summieren, so muß die Leistung eines ganzen Blattes schon eine merkbare sein und noch wahrnehmbarer wird dieselbe, wenn wir alle Blätter einer Pflanze addieren. Auf diese Weise läßt

sich die Frage experimentell lösen, wieviel organische Substanz die gesamte Blattfläche einer bestimmten Pflanze im Laufe der Sommermonate etwa in 100 Tagen produziert. Das Trockengewicht, welches man am Ende dieser Periode bestimmt, ergiebt die Menge der von der Pflanze produzierten organischen Substanz, wovon einige Prozent für Aschenbestandteile in Abzug kommen. Aus den erhaltenen Daten und den durch Messung gewonnenen Zahlen der Blattausdehnung läßt sich die Menge der Produktion für eine Flächeneinheit berechnen. Die Stärkemenge, welche ein Quadratmeter Blattfläche an einem Tage von ca. 10 Stunden produziert, ist nicht bei allen Pflanzen gleich. Ein Exemplar der Kapuzinerkresse, Tropaeolum majus produzierte 4,466 gr, die Gartenbohne, Phaseolus multiflorus 3,215 gr, die Sonnenrose Helianthus annuus 5,559 gr und endlich Ricinus communis 5,292 gr Stärke. Man sieht, daß eine ganze evidente Verschiedenheit bezüglich der Leistung bei diesen vier Pflanzen vorhanden ist, um wie viel mehr würde sich diese zeigen, wenn man zahlreichere untersuchen würde. Die verschiedene Leistungsfähigkeit der Stärkeproduktion bezeichnet man als spezifische Assimilationsenergie, weil sie von den spezifischen Eigenschaften der betreffenden Pflanzen abhängig ist. Eine solche Verschiedenheit ist zunächst durch die verschiedene Zahl und Größe der Chlorophyllkörner erklärlich, aber die Chlorophyllkörner können selbst bei gleicher Größe mit verschiedener Leistungsfähigkeit begabt sein. Die angeführten Zahlen sind an Topfpflanzen, die im Gewächshause beobachtet wurden, gewonnen. Unter diesen Bedingungen gelangen aber die Pflanzen nicht zur vollen Höhe ihrer Entwickelungsfähigkeit und bei im Freien unter natürlichen Bedingungen erwachsenen Pflanzen stellt sich, wie aus einer Untersuchung von Sachs*) hervorgeht, die Stärkeproduktion viel höher. Ein Quadratmeter Blattfläche der Sonnenrose z. B. ergiebt täglich in 15 Stunden wenigstens 24,5 gr Stärke, eine ganz erhebliche

*) Sachs, Ein Beitrag zur Kenntnis der Ernährungsthätigkeit der Blätter. Bd. III d. Arbeiten des Bot. Inst. z. Würzburg 1884.

Leistung für die dünne Blattfläche. Dazu bedarf die Pflanze 50 Kubikmeter Luft, welche 20 Liter oder 40 Gramm Kohlensäure enthalten.

Von Interesse ist es, daß selbst unter den natürlichen Bedingungen, selbst wenn sie, was die Beleuchtung betrifft, die günstigsten sind, nicht die größtmöglichste Arbeit vom Chlorophyll geleistet wird, deren dasselbe fähig ist. Das Chlorophyll ist imstande, mehr Kohlensäure zu zersetzen, als ihm in dem Mischungsverhältnis der Luft dargeboten wird. Bekanntlich können Tiere in reiner Kohlensäure nicht leben, sie ersticken. Auch Pflanzen würden auf die Dauer in reiner Kohlensäure nicht leben können. Allein die Bereicherung der Luft mit Kohlensäure bis zu einem gewissen Maße würde die Pflanzen in der That in ihrem Gedeihen unterstützen. Wenn wir den Kohlensäuregehalt der Luft, welcher, wie oben angeführt, nur 4—6 Zehntausendstel beträgt, bis auf 8% künstlich steigern, so wird auch 4—5 mal soviel Stärke produziert, wie unter gewöhnlichen Bedingungen. Allerdings muß bei vermehrter Kohlensäurezufuhr das volle Sonnenlicht zu Gebote stehen. Diese Versuche lassen sich natürlich nur in der Weise anstellen, daß man eine Pflanze unter einem abgesperrten Rezipienten, dessen Luft eine größere Menge Kohlensäure zugefügt wird, vegetieren läßt.

In früheren Epochen, welche unsere Erde durchlebte, war die Atmosphäre an Kohlensäure in ganz bedeutendem Maße reicher als heute und man könnte wohl an eine größere Stärkeproduktion in damaliger Zeit denken. Man hat aber bei solchen Betrachtungen im Auge zu behalten, daß die Atmosphäre damals zugleich eine viel größere Wassermenge enthielt, wodurch die Transspiration, welche die Ernährung begünstigt, herabgedrückt, die Beleuchtung durch Wolkenbildung gestört und trotz der reicheren Kohlensäureatmosphäre die Assimilation vielleicht doch nicht gefördert wurde.

Wir beendigen damit das Kapitel über die Assimilation des Kohlenstoffs in der Pflanze, in welchem die mannigfachen Be-

ziehungen des Chlorophylls zur Kohlensäurezersetzung den roten Faden bilden. Ist auch noch manche einzelne Frage unbeantwortet, so besitzen wir doch einen Überblick und ein Verständnis dieses wichtigen Naturprozesses in seiner Gesamtheit. Im Chlorophyll ist die Möglichkeit geschaffen, ausschließlich aus unorganischer Materie organische Substanzen herzustellen, welche der Tierkörper zum Aufbau seiner Organe bedarf, aber nicht selbst zu bilden imstande ist. Das Chlorophyll ist die Brücke zwischen unorganischer und organischer Welt.

Der Stickstoffbedarf der Pflanze.

Die Entstehung des ersten Kohlehydrates in der Pflanze ist die Grundlage ihrer ganzen Ernährung und die Ausführlichkeit, mit welcher dieser Akt in der bisherigen Darstellung behandelt wurde, findet schon ihre Erklärung in dieser Bedeutsamkeit, abgesehen von der fundamentalen Wichtigkeit für die gesamte lebendige Natur. Außer den Kohlehydraten produziert die Pflanze noch eine andere Gruppe von Substanzen, welche nicht nur Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff wie die Kohlehydrate, sondern auch noch Stickstoff enthalten und als stickstoffhaltige Substanzen geradezu den stickstofffreien gegenübergestellt werden. Zu den Stickstoffverbindungen gehören vor allem die Eiweißstoffe und verschiedene Amidverbindungen. Diese Substanzen entstehen nicht direkt aus Kohlensäure und Wasser, sondern werden von der Pflanze im Verlaufe ihres Stoffwechsels aus ihrem vorher gewonnenen Kapital an Kohlehydrat unter Zuhilfenahme des Stickstoffes und des Schwefels erzeugt. Das Eine aber ist auch bei diesen Substanzen, die wir im Pflanzenkörper antreffen, zu betonen, nämlich daß sie nicht in fertiger Form von außen aufgenommen werden. Wie die Stärke, erzeugt auch die Pflanze die Eiweißstoffe selbst in ihrem Lebensprozeß und wie jene, baut sie das komplizierte Eiweißmolekül aus einfacheren Verbindungen auf. Bei der ersten Produktion organischer Substanz aus unorganischen Generatoren werden diese sämtlich der äußeren Umgebung

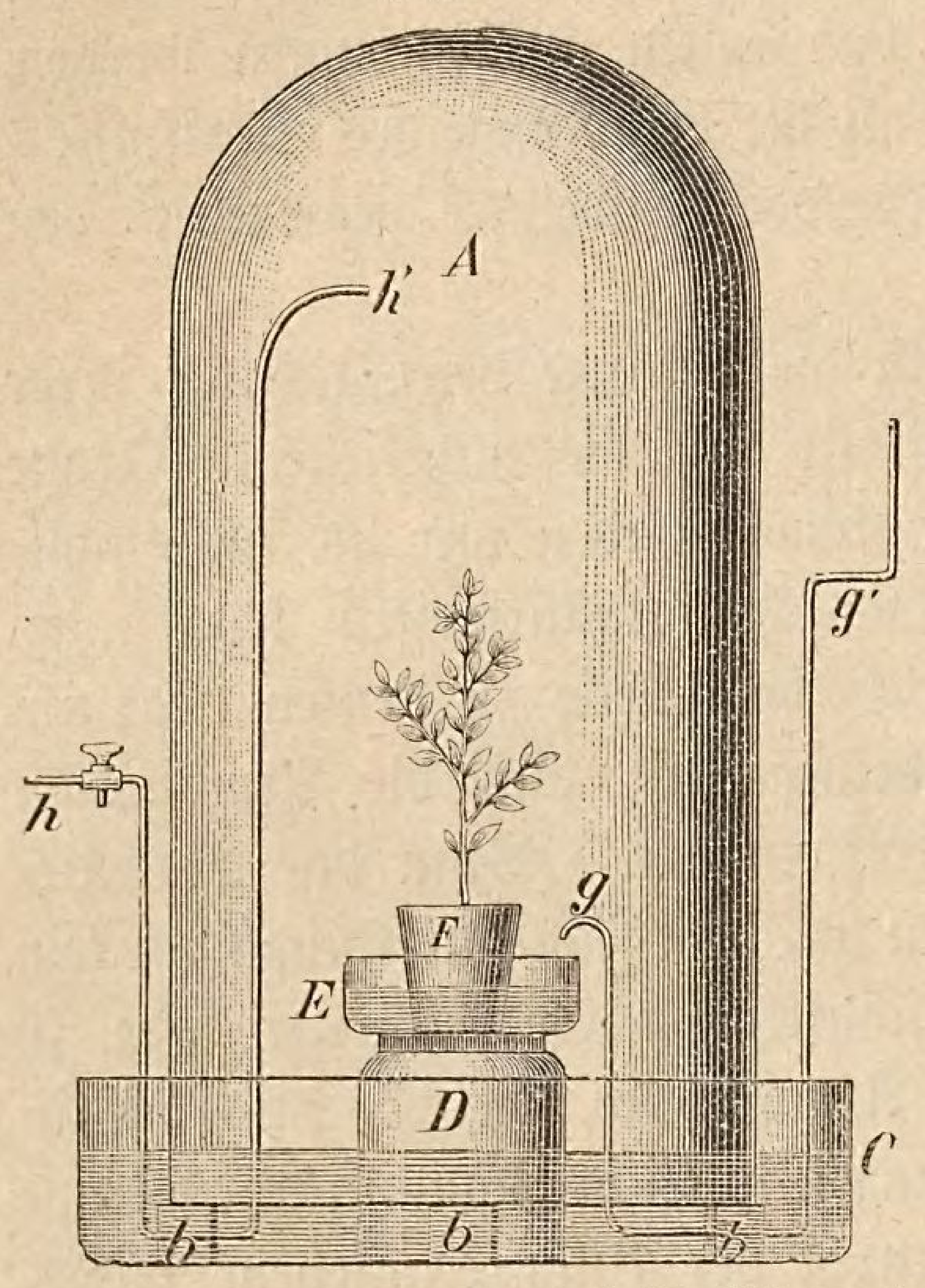
entnommen. Dies wäre bei der Synthese des Eiweiß eine unnötige Verlängerung des Weges. Eine organische Kohlenstoffverbindung liegt in der Pflanze bereits vor, als Produkt der ersten Arbeit gebildet, und die neue Aufgabe besteht darin, diese Kohlenstoffverbindung mit dem Stickstoff zu verketten. Selbstredend muß das neue Element, der Stickstoff und mit ihm auch die sehr geringe Menge Schwefel, von außen aufgenommen werden. Beschäftigen wir uns zunächst mit der Aufnahme des Stickstoffes, des charakteristischen Elementes des Eiweißes gegenüber den Kohlehydraten.

An die Notwendigkeit, daß die Pflanze den Stickstoff ihrer Umgebung entnehmen muß, knüpft sich die naheliegende Frage nach dessen Herkunft. Schon einmal haben wir die atmosphärische Luft als die Quelle eines Hauptnährstoffes kennen gelernt. Für den Stickstoff an dieselbe Quelle zu denken liegt um so näher, als ganz allgemein bekannt ist, daß die Atmosphäre neben 1/5 Sauerstoff 4/5 Stickstoff enthält. Wenn das Naheliegende immer das Richtige wäre, in welchem Falle allerdings gar kein besonderes Verdienst in wissenschaftlichen Entdeckungen läge, so müßte man ohne weiteres die Atmosphäre, welche Stickstoff in so reichlicher und für alle Pflanzen so leicht zugänglichen Menge enthält für den Stickstofflieferanten der Pflanze ansehen. Merkwürdigerweise nimmt die Pflanze ihren Stickstoff aber gar nicht unmittelbar aus der Atmosphäre; die reichlichen Mengen freien Stickstoffs, welche die Luft enthält, sind für die Pflanze ohne Bedeutung, da sie freien Stickstoff nicht verarbeiten kann. Zu dieser Erkenntnis kam man allerdings erst durch die überlegtesten und sorgfältigsten Untersuchungen, welche von dem französischen Gelehrten Boussingault*) ausgeführt wurden. Bei dem überraschenden Resultat, welches diese Untersuchungen ergaben, ist es von besonderem Interesse, zu verfolgen, wie dabei zu Werke gegangen wurde. Es handelte sich darum, eine Pflanze unter

*) Boussingault, Annales des sciences naturelles IV sér. Bd. I 1854 S. 241 u. Bd. IV 1855 S. 52.

vollständigem Ausschluß aller anderen Stickstoffverbindungen nur mit Zuführung des in der Luft enthaltenen Stickstoffes zu kultivieren. Erwies es sich durch die Analyse, daß die Pflanze nach einer längeren Vegetationsdauer Stickstoff aufgenommen und stickstoffhaltige Substanz gebildet habe, so konnte dieser nur aus der Luft stammen. Bei der Anstellung dieser Experimente mußte auf eine Fehlerquelle Rücksicht genommen werden. Die Luft enthält nämlich geringe Mengen Ammoniak, also eine Stickstoffverbindung, neben freiem Stickstoff und von dieser mußte die Luft, welche die Pflanze enthielt, befreit werden. Demnach wurde der ganze Versuch folgendermaßen eingerichtet. (Fig. 18).

Fig. 18.



Versuch zum Nachweise, daß die Pflanze den freien Stickstoff der Luft nicht zur Ernährung benutzt. F) Versuchspflanze. E) Schale in welche durch das Rohr g g' Wasser der Pflanze zugeführt werden kann. hh) Rohr zum Zuleiten von Kohlensäure in die Glasglocke A welche durch verdünnte Schwefelsäure in der Schale C abgesperrt ist. b) Stützen für die Glocke. D Untersatz. (Nach Boussingault).

Unter der großen Glasglocke A ist ein Blumentopf F mit der Pflanze aufgestellt. Die Pflanze war nicht in gewöhnliche Gartenerde gepflanzt, welche ja Stickstoffverbindungen enthalten würde, sondern befand sich in einem künstlichen Boden von ausgeglühtem Bimsstein, dem die nöthigen Mineralsalze beigemengt waren. Der Topf steht in einer Schale E, welche von außen her ohne die Glocke abzuheben durch das Rohr g g' mit Wasser versehen werden kann. Auf diese Weise kann also die Pflanze ohne Störung des Apparates begossen werden, da das in E befindliche Wasser durch den po-

rösen Topf aufgesogen wird. Die Luft, welche die Glocke enthält wird dadurch vom Ammoniakgehalt befreit, daß als Sperrflüssigkeit für die Glasglocke verdünnte Schwefelsäure benutzt wird, welche sich in der großen Schale C befindet. Für die Assimilation ist die Pflanze mit Kohlensäure zu versehen und dies muß ebenfalls geschehen können, ohne die Glocke abzuheben. Zu dem Zwecke führt das Rohr h h' in das Innere der Glocke. Von Zeit zu Zeit läßt man aus einem Kohlensäureentwickler etwas Kohlensäure zur Pflanze gelangen, indem man den Kohlensäureapparat mit dem Ende h des Glasrohres verbindet, den Hahn öffnet, worauf die Kohlensäure bei h' in die Glocke strömt. So stehen der Pflanze alle Nährstoffe zu Gebote, unter diesen der Stickstoff in Form des freien Stickstoffes der Luft und es muß sich zeigen, ob die Pflanze imstande ist, diesen zur Hervorbringung stickstoffhaltiger Substanz zu verwenden. Ob dies der Fall gewesen ist, ermittelt man durch die Analyse der Pflanze, nachdem dieselbe eine hinreichende Vegetationszeit im Apparat zugebracht hat. Hat die Pflanze aus dem Stickstoff der Luft nun Stickstoffverbindungen erzeugt, so muß die Analyse der Pflanze mehr Stickstoffgehalt ergeben als diejenige des Samens. Natürlich kann der Samen, aus dem die Pflanze erzogen wird nicht selbst analysiert werden, der Stickstoffgehalt desselben ergiebt sich aus der Analyse anderer dem eingepflanzten möglichst gleicher Samen.

Die Versuche Boussingaults hatten zum Resultat, daß bei einer Pflanze, welche mit den obenbeschriebenen Vorsichtsmaßregeln kultiviert wird, keine Zunahme ihres Stickstoffgehaltes stattfindet. Die Pflanze enthält nicht mehr Stickstoff, als schon im Samen vorhanden war. Die Pflanze war rings von Stickstoff umgeben, sie hat davon keinen Gebrauch zu ihrer Ernährung gemacht, daß heißt aber, sie kann davon keinen Gebrauch machen. Eine Pflanze ist nicht imstande, den freien Stickstoff der Atmosphäre zur Synthese ihrer stickstoffhaltigen Substanzen

zu benutzen. Wir wollen uns nun aber im Anschluß an diese Erfahrung danach umsehen, woher die Pflanze ihren Stickstoff bezieht.

Von freiem Stickstoff abgesehen findet sich derselbe in zweierlei Formen besonders verbreitet in der Natur, als Ammoniak und als salpetersaures Salz. Bei allen Fäulnisprozessen durch die in der Natur stickstoffhaltige Substanzen zerstört werden entsteht Ammoniak und da in jedem Boden solche Zersetzungsprozesse vor sich gehen, glaubte Liebig, im Ammoniak habe man die Stickstoffverbindung zu erblicken, welche den Pflanzen als Nährmaterial diene. Die Meinung Liebigs erhielt jedoch experimentell keine Stütze. Ernährt man Pflanzen mit Ammoniaksalzen, so gedeihen sie nicht besonders gut und wenn auch der Stickstoff des Ammoniaks verwertet wird, so geht aus allem hervor, daß es ein unzureichendes Nährmaterial ist. Ganz anders kommen die Pflanzen fort, wenn ihnen der Stickstoff als salpetersaures Salz geboten wird. Dies ergab sich aus Experimenten Boussingaults und wurde durch zahlreiche Vegetationsversuche bestätigt. Man muß demnach annehmen, daß auch unter den natürlichen Bedingungen die Pflanzen ihren Stickstoff in Form salpetersaurer Salze aufnehmen. Die Nitrate haben ja die weiteste Verbreitung und regenerieren sich im Boden aus Ammoniakverbindungen durch Oxydation.

So dient also auch bezüglich des Stickstoffes eine unorganische Verbindung als Nährmaterial ganz ebenso wie eine solche ausschließlich zur Erlangung des Kohlenstoffes zur Verwendung kommt. Man hat zwar aus wissenschaftlichem Interesse auch Versuche angestellt, chlorophyllhaltige Pflanzen mit organischen Stickstoffverbindungen zu ernähren. Zu diesem Zwecke verwendete man Harnstoff, Asparagin, Leucin, Tyrosin ꝛc. als Stickstoffmaterial. Alle diese Verbindungen werden zwar von den Wurzeln aufgenommen, allein die Pflanzen gedeihen dabei nicht. Außerdem ist natürlich nicht anzunehmen, daß die Pflanzen in solcher Form den Stickstoff im Freien aufnehmen, da sich dort die genannten Verbindungen gar nicht in ausreichender Menge

finden. Die vortreffliche Ernährungsfähigkeit des Salpeters dagegen wurde schon von Boussingault durch Ernährungsversuche bewiesen. Eine Sonnenrose, welche ohne Stickstoffzufuhr in 77 Tagen nur das 4,6 fache Trockengewicht des Samens gebildet, lieferte mit Zusatz von Salpeter bei sonst gleichen Bedingungen 198mal soviel Trockensubstanz, als der Same enthielt, aus dem sie erwachsen. Seit jener Zeit ist tausendfach die Notwendigkeit der salpetersauren Salze für die Pflanzen durch die künstliche Ernährung auf das Schlagendste bewiesen.

Wo, wie dies beim Stickstoff der Fall ist, ein Element irgend eine Substanz des Pflanzenkörpers mit konstituiert, da ist selbstverständlich dies Element schon ohne weiteres den Nährstoffen zuzurechnen. Der Stickstoff gehört mit in die Formel des Eiweiß und ist daher ein Pflanzennährstoff. Aus demselben Grunde fügen wir auch noch zwei andere Stoffe dem pflanzlichen Nährmaterial bei, den Schwefel und den Phosphor. Es ist schon erwähnt worden, daß der Schwefel ebenfalls ein Bestandteil des Eiweißkörpers ist, freilich nur in der kleinen Menge von 1 Proz. in diesen vorkommt, abgesehen davon, daß auch andere Stoffwechselprodukte wie das Senföl schwefelhaltig sind. Der Phosphor, welcher auch noch anderweitige Verwendung für Ernährungsvorgänge finden mag, ist ein Bestandteil des Nukleins, der Substanz, aus welcher die Zellkerne vorwiegend bestehen. Es ist also notwendig, daß die Pflanze auch sowohl Schwefel wie Phosphor aufnehmen kann. Beide Elemente werden in der Form von Salzen aus dem Boden durch die Wurzeln aufgenommen. Schwefelsaurer und phosphorsaurer Kalk sind die Verbindungen, denen in der Pflanze der Schwefel und Phosphor entzogen wird um organischen Substanzen einverleibt zu werden. Durch welche chemischen Prozesse der Schwefel und Phosphor den Säuren entrissen werden, ist noch völlig dunkel, im ganzen aber nicht rätselhafter als die Zersetzung der Kohlensäure. Verbrennen wir eine Pflanze, so werden die schwefel- und phosphorhaltigen organischen Verbindungen oxydiert und

Schwefel und Phosphor gehen als Salze in die Asche über. Die Asche ist aber immer reicher an schwefelsauren und phosphorsauren Salzen, da solche auch in unverändertem Zustande oft in großer Menge in den Zellen vorhanden sind.

Die Bedeutung der Mineralbestandteile für die Pflanzen.

Außer dem Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel und Phosphor, welche in unserer Einleitung unter den Bestandteilen der Pflanzensubstanz aufgeführt und die durch das Studium der ebenbeschlossenen Kapitel als wahre Nährstoffe der Pflanze erkannt wurden, findet sich in allen Pflanzen eine Anzahl Elemente, welche sonst vorzugsweise als Bestandteile mineralischer Körper, also solcher Verbindungen bekannt sind, welche den Formationen der unbelebten Natur zur substantiellen Grundlage dienen. Diese Elemente sind das Calcium, Magnesium, Kalium und Eisen. Das häufige Vorkommen der Salze dieser Basen in der Pflanze berechtigt schon zur Unterstützung der Meinung, daß auch sie zum Nährmaterial der Pflanze gehören und in der That sind die genannten Elemente den unentbehrlichen Pflanzennährstoffen zuzuzählen.

Die mineralischen Pflanzenbestandteile gewinnt man immer als Überrest, wenn man eine Pflanze vollständig verbrennt. Natürlich nicht als freie Elemente, sondern in der Form von Salzen. Bei dem Verbrennungsprozeß verwandelt sich der Kohlenstoff in Kohlensäure, der Stickstoff in Ammoniak, das Wasser verdampft, die Salze bleiben als unverbrennlicher Rückstand übrig und so lange man auch erhitzen mag, dies Häuflein Substanz bleibt von der Pflanze erhalten. Man bezeichnet das Gemenge der Salze ganz allgemein als Asche der Pflanzen. Jede Asche, — stamme sie nun aus den Tabakblättern einer Cigarre oder aus einem Holzscheit das im Ofen verbrennt oder sonst woher — sie stellt die Summe der mineralischen Bestandteile dar, welche die Pflanze oder der Pflanzenteil während seines Lebens enthielt. Die Menge der Asche, welche man bei der

Verbrennung erhält, ist eine sehr verschiedene. Einige Pflanzen enthalten mehr, einige weniger, ja die einzelnen Teile derselben Pflanze enthalten sehr verschiedene Aschenmengen, so können die Blätter viel reicher daran sein als Stengel und Wurzeln. Der Aschengehalt bewegt sich zwischen 1—20 Proz., ja bis 30 Proz. Die Beschaffenheit des Standortes der Pflanze übt einen bestimmten Einfluß auf die Aschenquantität und ist eine von den Bedingungen, welche die große Differenz im Aschengehalt veranlassen, wozu selbstverständlich die individuelle Organisation der Pflanze und der ganze Verlauf ihrer Vegetation als Ursache hinzutritt. In alten Zeiten glaubte man, daß die Aschenbestandteile von der Pflanze selbst produziert würden, und sogar in späteren Zeiten, am Anfange dieses Jahrhunderts, wurde diese Meinung aus der Rumpelkammer unbegründeter Mutmaßungen wieder hervorgeholt. Das Irrtümliche solcher Ansichten hatte schon Théodore de Saussure 1804 erkannt und es war ihm vollkommen klar, daß auch eine andere Meinung falsch sei, welche zwar zugab, daß die Salze aus dem Boden von der Pflanze aufgenommen würden, aber sie als ganz zufällige und nutzlose Bestandteile der Pflanzen bezeichnete. Obgleich er seine Ansicht, daß die Aschenbestandteile der Pflanzen höchst notwendig für deren Leben seien, auf das deutlichste in seinem berühmten Buche „Recherches chimiques sur la végétation" aussprach, fiel diese Äußerung, wie die meisten bedeutenden Entdeckungen dieses hervorragenden Gelehrten in der Folge einer Ära des Obskurantismus zum Opfer und wurde der Vergessenheit überliefert. Erst gegen die Mitte unseres Jahrhunderts brachte Liebig die unschätzbaren Entdeckungen Saussures wieder zu Ehren. Ganz besonders fruchtbar wurde die Erkenntnis Saussures von der Notwendigkeit der Mineralbestandteile für die Ernährung, durch die praktische Nutzanwendung, welche Liebig für die Pflanzenkultur von dieser Lehre machte, indem er die künstliche Düngung des Bodens durch Salze vornahm, wodurch der Pflanze die Möglichkeit geboten war, jene für ihr Leben unentbehrlichen Substanzen sich

in genügender Menge anzueignen. In dem epochemachenden Werke Liebigs „die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie", das wie ein leuchtendes Meteor in die dunkle Nacht, die damals die Pflanzenphysiologie umhüllte, hineinstrahlte, wurde die pflanzliche Ernährungslehre aus dem betrübenden Zustande der Unklarheit und Haltlosigkeit auf einmal auf die Höhe wissenschaftlicher Begreiflichkeit gehoben. Die von Ingenhousz und Saussure entdeckte Kohlensäurezersetzung, welche dem blöden Verstande der früheren sogenannten Pflanzenphysiologie der 30er Jahre als eine Ungeheuerlichkeit erschien, die sie mit Nachdruck so lange bekämpften, bis sie unter das Niveau der Beachtung gesunken, wurde plötzlich durch Liebigs Genius als die wahre Ernährungsthätigkeit der Pflanzen einer ungläubig erstaunten Welt aufgedeckt. Es wurde wieder offenbar, daß die grünen Pflanzen nicht, wie die festgewurzelte Meinung behauptet, organische Nährstoffe aus dem Boden nehmen, um ihren Kohlenstoff zu erlangen, sondern unorganisches Nährmaterial zum Aufbau ihrer Körpersubstanz verwenden. Kohlensäure, Wasser, Ammoniak*) sind die Quellen des Kohlenstoffs, Wasserstoffs, Sauerstoffs und Stickstoffs für die Pflanze. Aber außerdem bedarf sie Phosphorsäure, Schwefelsäure, Kalk, Magnesia, Kali und Eisen. Das waren Sätze Liebigs, die freilich mit den damals herrschenden gedankenlosen und unbegründeten Anschauungen mancher Gelehrten einen argen Mißklang gaben.

Man bezweifelte die Notwendigkeit der Mineralbestandteile damals in dem Maße, daß noch im Jahre 1838, obgleich Saussures Untersuchungen schon 1804 erschienen waren, die Göttinger Akademie in vollem Ernste einen ihr überwiesenen Preis ausschrieb für die Lösung der Frage: 1) „ob die sogenannten unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanzen gefunden werden, auch dann in den Pflanzen sich finden, wenn

*) Daß Liebig in diesem Punkte nicht ganz das Richtige traf, ist schon im vorhergehenden Kapitel besprochen, raubt aber dem genialen Forscher nichts von seinem Verdienst.

sie denselben von außen nicht dargeboten werden; und 2) ob jene Elemente so wesentliche Bestandteile des vegetabilischen Organismus sind, daß dieser sie zu seiner richtigen Ausbildung durchaus bedarf." Zwei Männer, Wiegmann und Polstorf bestätigten durch Vegetationsversuche im Jahre 1842 überzeugend, daß die Salze für die normale Ernährung der Pflanzen unbedingt notwendig seien, bei welcher Gelegenheit zugleich die dem gesunden Menschenverstande nicht gerade akademisch erscheinende erste Frage beantwortet wurde.

Die Erfolge der künstlichen Düngung, die heute wohl jedermann bekannt sind, geben ja schon im allgemeinen eine Einsicht in die Notwendigkeit der Mineralbestandteile für die Pflanzenernährung. Diese Beweisführung erweckt aber auch nur eine allmeine Vorstellung, und das Gefühl, daß die Sache wohl ihre Richtigkeit habe. Unter Umständen können aber die Erfolge der Düngung auch gerade Zweifel erwecken, was Liebig selbst genugsam nach Aufstellung seiner Theorie erfahren hat. Eine glänzende Entscheidung dieser theoretisch wie praktisch gleich wichtigen Frage konnte erst durch die Methode der künstlichen Ernährung der Pflanzen erfolgen, eines Verfahrens, welches in der Erziehung einer Pflanze in einem Gemenge bekannter Nährsalze besteht.

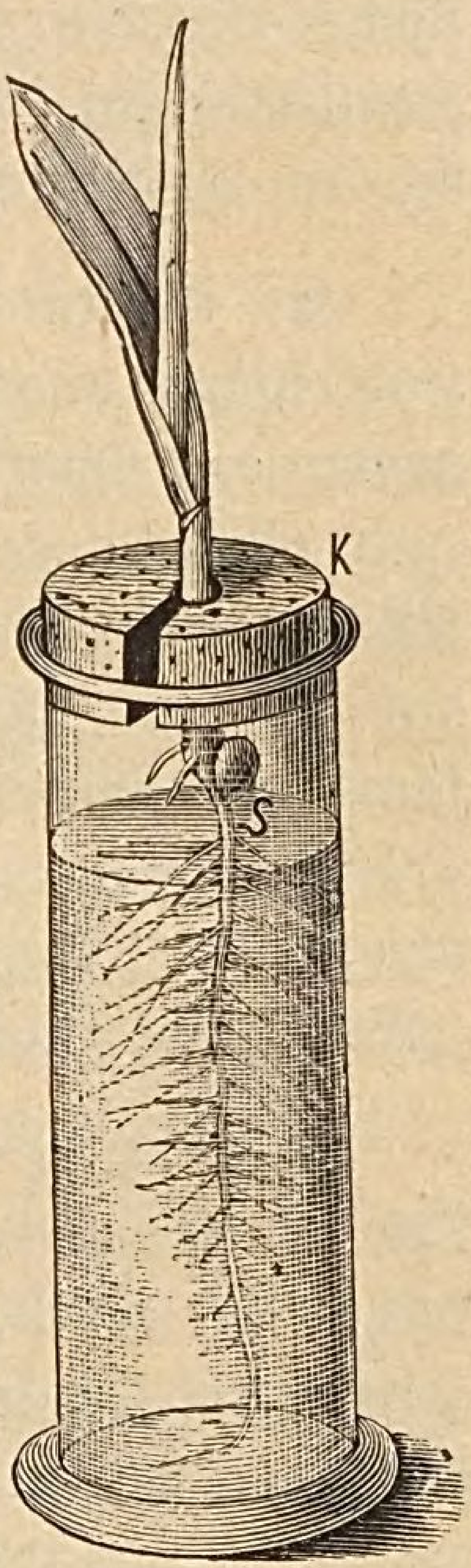
Um zu erfahren, ob bestimmte Mineralstoffe für die Ernährung der Pflanzen von Wichtigkeit sind, genügt es nicht, der Erde einer etwa in einem Blumentopf kultivierten Pflanze bestimmte Salze zuzufügen und den Effekt auf die Entwickelung der Pflanze zu beobachten. Die Gartenerde enthält schon von vornherein Quantitäten von Calcium-, Magnesium- und Kalisalzen und das Urteil über die Wirkungsweise der zugefügten Salzmenge würde ein ganz unklares sein müssen. Die ersten Experimentatoren, welche die Mineraltheorie begründen wollten, bedienten sich deshalb schon als Kulturboden eines durch sorgfältige Vorbehandlung von Salzen befreiten Quarzsandes oder auch des feinpulverisierten Bimssteins. In diese Substanzen,

welche keine Salze mehr enthalten, wurden Samen ausgesäet, und indem man ganz nach Belieben die Salze zufügte, konnte deren Wirkung dem Studium unterworfen werden. Es war dies schon ein großer Fortschritt. Die experimentellen Untersuchungen über die Notwendigkeit der Mineralbestandteile erhoben sich aber erst dann zu voller Exaktheit, als Sachs im Jahre 1860 eine Kulturmethode anwandte, welche, frei von jedem Vorwurf, geeignet war, die einschlägigen Fragen klar und durchsichtig zu beantworten. Diese Methode ist die künstliche Ernährung der Pflanzen in wässerigen Lösungen chemisch reiner Salze, die wohl populär auch die Wasserkultur genannt wird. Stellt man sich eine Lösung chemisch reiner Nährsalze in destilliertem Wasser her, so besitzt der Experimentator eine vollkommene Kenntnis aller derjenigen Stoffe, welche bei seinem Versuch in Betracht kommen. Tritt eine Wirkung zu tage, so kann sie nur durch Verhältnisse verursacht sein, die man kennt, ein Eingriff von unbekannten Bedingungen ist nicht möglich. Das Auffinden einer Methode ist in der Naturwissenschaft oft schon gleichbedeutend mit der Lösung der Frage und man muß diesen Fortschritt, Pflanzen, die in der Natur im festen Boden wachsen, in künstlich hergestellten genau kontrollierbaren Nährlösungen zu erziehen, als einen für die Wissenschaft höchst bedeutenden bezeichnen.

Wir wollen den Leser mit dieser so interessanten künstlichen Ernährung der Pflanzen bekannt machen. Natürlich kommt es bei diesem Experimente darauf an, die Pflanze vom Beginn ihrer Entwickelung unter kontrollierbaren Bedingungen zu haben und die Vorbereitung zum Versuch besteht darin, sich junge Pflanzen zu verschaffen. Zu dem Ende läßt man Samen von der Gartenbohne, vom Mais, vom Tabak, Hafer oder der Kohlrübe oder was man will, keimen, bis sie ihre Keimwurzel und ihren Keimsproß entwickelt haben. Will man die höchste Genauigkeit aufwenden, so kann man schon bei dieser Vorbereitung jede Stoffzufuhr durch die Wurzel vermeiden, indem man die Samen in destilliertem Wasser quellen läßt und bis zur ersten Entwickelung

das Keimpflänzchen ebenfalls nur in destilliertem Wasser erzieht. Für gewöhnlich empfiehlt es sich, die Samen in einem Topfe mit gut ausgewaschenen feuchten Sägespähnen keimen zu lassen. Sind die Keimpflanzen herangewachsen, so wählt man die gewünschte Zahl aus den kräftigsten Exemplaren aus und bringt sie in das Kulturgefäß für die künstliche Ernährung. Es ist dies ein einfacher, geräumiger Glaszylinder, welcher durch einen durchbohrten Kork verschlossen wird. Der Korkverschluß ist hauptsächlich dazu bestimmt, der Pflanze als Befestigungsort zu dienen, verhindert aber zugleich das Hineingelangen von Staub ꝛc. in die Nährlösung. Es wird am besten aus der Fig. 19 erhellen, in welcher Weise die junge Pflanze in das Kulturgefäß eingesetzt wird.

Fig. 19.



Gefäß zur künstlichen Ernährung der Pflanzen. K) Kork. s) Maiskorn aus dem sich die junge Pflanze entwickelt hat. (Nach Sachs.)

Der seitliche Ausschnitt des Korkes dient dazu, die Keimpflanze bequem in die Mitte einführen zu können, ohne die Wurzeln, welche sehr empfindlich sind, viel zu berühren und zu beschädigen. Die Pflanze muß befestigt werden, da eine Fixierung ihrer Lage für das Gedeihen wesentlich ist. Die Durchbohrung des Korkes ist natürlich auf die Umfangszunahme berechnet und daher zu weit. Die Befestigung der Pflanze gelingt sehr einfach und leicht, indem man den zu weiten Raum mit etwas Watte ausfüllt und die Pflanze dadurch festklemmt. Dies genügt, um die leichte Pflanze aufrecht zu erhalten, ohne daß ihr durch Druck ein Schaden zugefügt wird. Es ist nötig, daß man den Glaszylinder, in welchen die Wurzeln nun hineinwachsen, mit einer undurchsichtigen Umhüllung umgiebt, am bequemsten durch ein einfaches Pappfutteral verdunkelt. Dies geschieht nicht nur, um die Wurzeln, die im

Boden ebenfalls des Lichtes entbehren, in naturgemäßere Bedingungen zu bringen, sondern um zu verhindern, daß sich Algen in der Nährlösung ansiedeln. Dem Licht ausgesetzt, würde sich bald eine lebhafte Vegetation grüner Algen im Zylinder zeigen und diese mikroskopischen Pflänzchen würden, indem sie die Oberflächen der Wurzeln überziehen, deren Thätigkeit in hohem Maße beeinträchtigen. Das wären die wichtigsten Manipulationen, die bei der Anstellung eines solchen Versuches zu beachten sind.

Es ist dem Leser eine geläufige Thatsache, daß die Pflanze Kohlensäure und Wasser bedarf und daraus organische Substanz produzieren kann. Bestände das Nährmaterial der Pflanze einzig und allein aus diesen beiden Verbindungen und bedürfte die Pflanze keiner anderen Nährstoffe, so müßte eine Pflanze wohlauf sein und gedeihen, wenn man ihr bei der Kultur Kohlensäure und Wasser zuführte und außerdem ermöglichte, daß ihre grünen Organe vom Sonnenlicht getroffen würden. Der Versuch, eine Pflanze mit Kohlensäure und Wasser allein zu ernähren, läßt sich mit Leichtigkeit anstellen.

Man bringe von den Bohnenkeimlingen, welche man erzogen hat, ein gesundes Pflänzchen in ein Kulturgefäß, welches nichts enthält als destilliertes Wasser. Die Pflanze wird an die Sonne gestellt und da kohlensäurehaltige Luft ihre grünen Blätter umgiebt, so hat sie Kohlensäure und Wasser zur Verfügung und wenn das alles wäre, was sie brauchte, so müßte ihre Entwickelung in normaler Weise fortschreiten. Das scheint nun auch zunächst der Fall zu sein, die Keimpflanze wächst. Beim Beginn des Versuches kaum einige Centimeter hoch, erreicht sie die Länge von 10, 20, 30 Centimetern. Es ist kein Zweifel, daß die Bohne wächst. Wenn wir aber weiterhin unsere Bohne mit einer im Garten erwachsenen vergleichen, so sieht man sogleich, daß nicht alles in Ordnung ist. Die im destillierten Wasser erzogene Pflanze ist grün, sie hat Stengel und Blätter, aber der Stengel ist von auffallender Schmächtigkeit, die Blätter sind klein und die später

entstehenden Blätter bleiben an Größe hinter den ersten zurück. Die junge Pflanze bleibt ein Zwerg. Man mag sie täglich beobachten, das Wachstum ist in Stillstand geraten oder sein Fortgang doch ganz unmerklich geworden. Die Pflanze stirbt nicht, aber ihre Weiterentwickelung ist völlig sistiert und monatelang bleibt sie auf derselben Stufe der Unvollkommenheit, während eine Bohne, die gleichzeitig im Freien erwuchs, längst als eine meterhohe Pflanze mit reicher Belaubung und im Schmuck ihrer Blüten dasteht.

Mit Kohlensäure und Wasser allein läßt sich also keine Pflanze ernähren. So lange ihr die übrigen Nährstoffe vorenthalten sind, macht sie keinen Gebrauch von diesen beiden, die ihr dargeboten werden. Trotz der Gegenwart von Kohlensäure und Wasser, trotz Chlorophyll und Sonnenlicht wächst die Pflanze nicht, weil ihr die nötigen Salze fehlen, welche wir in der Asche der normal ernährten Pflanze finden. Es würde auch nichts nützen, wenn wir in dem destillierten Wasser noch eine Stickstoffverbindung auflösten. Der Pflanze fehlen Kalium, Calcium, Magnesium, Schwefel, Phosphor und Eisen, und solange nicht alle diese Substanzen gegenwärtig sind, findet auch keine Kohlensäurezersetzung statt.

Eine Frage bleibt aber trotz dieser Erklärung zu beantworten. In destilliertem Wasser kommt eine Pflanze nicht fort, das ist klar, aber unsere Bohne wuchs doch in den ersten Wochen, obgleich die Bedingungen anscheinend keine anderen als später waren. Warum konnte die Pflanze in den ersten Tagen wachsen und neue Blätter bilden? Bedarf sie etwa zur ersten Entwickelung keiner Nährsalze oder standen ihr dieselben ohne unser Zuthun doch zu Gebote? Das letztere war allerdings der Fall. Eine geringe Quantität mineralischer Nährstoffe steckt nämlich im Samen, aus dem die Pflanze erzogen wurde. In allen Samen befindet sich neben dem Keime eine Quantität von Nährstoffen, welche entweder in einem besonderen, den Keim umgebenden Ge-

webe, dem Endosperm, aufgespeichert liegen oder da, wo das Endosperm fehlt, in den dicken, fleischigen Keimblättern niedergelegt ist. Wie beträchtlich dieses Nährstoffgemenge sein kann, erhellt am besten daraus, daß wir selbst in den Bohnen und Erbsen diese Reservestoffbehälter, welche mit Stärke und Eiweißstoffen gefüllt sind, als Nahrungsmittel benutzen. Einige Überlegung ergiebt die Notwendigkeit einer solchen Mitgabe von Nährstoffen für den Keim. Der Keim soll erst die Organe der Ernährung entwickeln und so lange bis dies geschehen, bis die junge Pflanze selbst die Arbeit ihrer Ernährung übernehmen kann, muß die fertige Nahrung zur Aufnahme bereit liegen. Wie schon angedeutet, besteht dieselbe in den meisten Samen aus Stärke, aus Eiweißstoffen oder Fetten. Aber neben diesen Substanzen enthalten die Samen geringe Mengen von Salzen, wovon uns die Aschenanalyse reifer Samen überzeugt. So kann es nicht wunder nehmen, daß die junge Bohne auch in reinem, destilliertem Wasser eine Zeitlang wuchs; sie verbrauchte die ganze Mitgift anorganischer Salze, mußte aber nach dem Verbrauch derselben ihre Ernährungsthätigkeit einstellen.

Ganz anders gestaltet sich die Sache, wenn wir eine Keimpflanze statt in destilliertem Wasser in einer Lösung kultivieren, die alle notwendigen Nährsalze enthält. In wenigen Wochen wächst die Pflanze kräftig heran und nach einigen Monaten stattlich gediehen, bringt sie Blüten und Früchte mit keimfähigen Samen. Man kann also in einem Glasgefäße nur durch Lösungen eine Pflanze künstlich aufziehen. Solche Versuche sind nicht vereinzelt angestellt, sondern tausendfach wiederholt worden und die Erfahrung hat verschiedene Salzgemische kennen gelehrt, welche sich als zweckmäßig für die künstliche Ernährung erwiesen haben. Ich führe hier ein solches Gemisch an, welches seit Jahren mit Erfolg bei Kulturen angewendet wurde.

In einem Liter destillierten Wassers werden gelöst:

Salpetersaures Kali (Salpeter)	1,0 gr.
Schwefelsaurer Kalk (Gips)	0,5 „
Schwefelsaure Magnesia (Bittersalz)	0,5 „
Gewöhnlicher phosphorsaurer Kalk	0,5 „
Chlornatrium (Kochsalz)	0,5 „

Außerdem werden der Lösung einige Kubikcentimeter einer einprozentigen Eisenvitriollösung oder ein Tropfen Eisenchloridlösung zugefügt. Der phosphorsaure Kalk, nur in geringer Menge in Wasser löslich, wird nur als feines Pulver im Wasser verteilt, damit er sich in dem Maße, als er von den Wurzeln verbraucht wird, immer wieder lösen kann. Es ist ferner zu dieser Vorschrift noch zu bemerken, daß das Chlornatrium nicht zu den Nährsalzen gehört, sondern nur deshalb zugefügt wurde, um das Alkalischwerden der Nährlösung zu verhüten, welches bei längerer Kultur eintreten und den Wurzeln nachteilig werden würde. Diesem Umstande kommt man nach neueren Versuchen von Sachs auch dadurch zuvor, daß man der Lösung eine geringe Quantität Salpetersäure, 0,05 Kubikcentimeter auf einen Liter, zufügt. Man kann aber auch, um den Änderungen der Nährlösung vorzubeugen, die alte häufig erneuern. Es wird der Aufmerksamkeit nicht entgehen, daß die Salzlösung, deren Vorschrift eben gegeben wurde, eine sehr verdünnte ist; sie enthält nur 3 Teile Salz auf 1000 Teile Wasser und es ist sogar noch besser, eine noch größere Verdünnung anzuwenden. Das ist den natürlichen Bedingungen angemessen, auch aus dem Boden nimmt die Pflanze nur sehr verdünnte Lösungen auf. Der Versuch, eine Pflanze in konzentrierter Salzlösung zu kultivieren, ist unmöglich, weil die Wurzeln getötet werden. Dennoch ist man nicht etwa an eine ganz bestimmte quantitative Zusammensetzung der Lösung gebunden. Zunächst ist das individuelle Bedürfnis verschiedener Pflanzenarten an mineralischen Stoffen ein sehr verschiedenes. Besonders aber ist eine Thatsache zu erwähnen, der gegenüber ein konstantes Mischungsverhältnis der Salze

völlig zwecklos wäre. Die verschiedenen Salze werden nicht in dem Verhältnis aufgenommen, wie sie in der Lösung enthalten sind. Die Lösung kann prozentisch reicher an Magnesium als an Kaliumsalzen sein und die Pflanze entzieht derselben doch eine größere Menge der letzteren, während sie zugleich weniger Magnesium aufnimmt. Man hat diese, noch in ihrer Ursächlichkeit nicht erklärte Erscheinung als das quantitative Wahlvermögen bezeichnet. Die Pflanze wählt sich ihren Bedarf gleichsam selbst aus und damit erklärt es sich auch, daß dieselben Pflanzen auf einem Boden von ganz verschiedener Zusammensetzung gleich gut gedeihen können. Aber auch das ist verständlich, weshalb zwei auf demselben Boden erwachsene Pflanzen dennoch ganz verschiedene Aschenmengen enthalten. Sehr merkwürdig ist die hierher gehörige Thatsache, daß die Meerespflanzen, obgleich das Meerwasser 3% Kochsalz enthält, doch nur wenig davon aufnehmen, während sie die kleinen Mengen Kalium-, Calcium- und Magnesiumsalze anziehen und in ihrer Asche größere Mengen davon enthalten. Ebenso nehmen die Tange die im Meerwasser in nicht nachweisbarer Menge vorhandenen Jodverbindungen in dem Maße auf, daß ihre Asche wie bekannt das Material zur technischen Gewinnung des Jods liefert.

Unsere Pflanze, welche wir in einer Nährlösung von obenbeschriebener Zusammensetzung erziehen, wächst auf das Lebhafteste heran, sie erzeugt zahlreiche neue Blätter und der schlingende Stengel bedarf bald einer Stütze. Nach einigen Monaten erscheinen die Blütenstände und die Bohne steht in reichem Blütenschmuck, der eine Ernte reifer Früchte mit keimfähigen Samen erwarten läßt. Um Früchte zu erzielen, tritt die Notwendigkeit ein, den Blüten Gelegenheit zur Befruchtung zu verschaffen, was am besten dadurch geschieht, daß die Pflanze am Tage an einen Ort ins Freie gestellt wird, wo die Bienen zu den Blüten gelangen und die Befruchtung besorgen können. Kultiviert man die Pflanzen im geschlossenen Raume, so muß, um reife Früchte zu erzielen, die Befruchtung künstlich durch

Übertragung des Pollens einer Blüte auf die Narbe der anderen vollführt werden. Das bietet immerhin Schwierigkeiten, da es schon einiges Geschick erfordert, mit einem Instrumente die Prozedur mit Erfolg auszuführen, die von den Insekten durch die feinste Anpassung ihrer Organisation an den Blütenbau ebenso leicht als unfehlbar geschieht.

Gelingt die Befruchtung, so erzeugt die künstlich ernährte Pflanze, ganz wie eine normale, Früchte mit keimfähigen Samen und beschließt damit den Entwickelungsgang, den alle Gewächse unter natürlichen Bedingungen durchlaufen. Als man die ersten Versuche künstlicher Ernährung anstellte, war auf die Notwendigkeit einer Befruchtung der Blüten noch nicht die genügende Aufmerksamkeit gelenkt worden und so kam es, daß bei diesen ersten Kulturen, welche im übrigen vollkommen gelangen, doch nur immer wenig Samen angesetzt wurden, die ihre Entstehung der zufälligen Übertragung des Blütenstaubes verdankten. Man sieht daraus, daß mancherlei bei diesen Versuchen zu beachten ist, obgleich die Schilderung nur einfach scheint, und daß eine nicht unbedeutende Sorgfalt aufzuwenden ist, wenn ein solches Experiment den wissenschaftlichen Anforderungen genügen soll. Um das Resultat eines solchen Versuches künstlicher Ernährung dem Leser zu veranschaulichen, habe ich eine Abbildung beigefügt, welche das genaue Bild einer vom April bis Ende Juli 1883 kultivierten Gartenbohne giebt. Die Pflanze, ca. 3 Meter hoch, befindet sich gerade in der Blüte. Neben diesem stattlichen Exemplar steht ein Pflänzchen, welches während derselben Zeit in reinem destillierten Wasser aufgewachsen war und dessen Vergleich mit der in normaler Nährlösung kultivierten Bohne alles Ebengesagte noch einmal in die Erinnerung zurückruft.

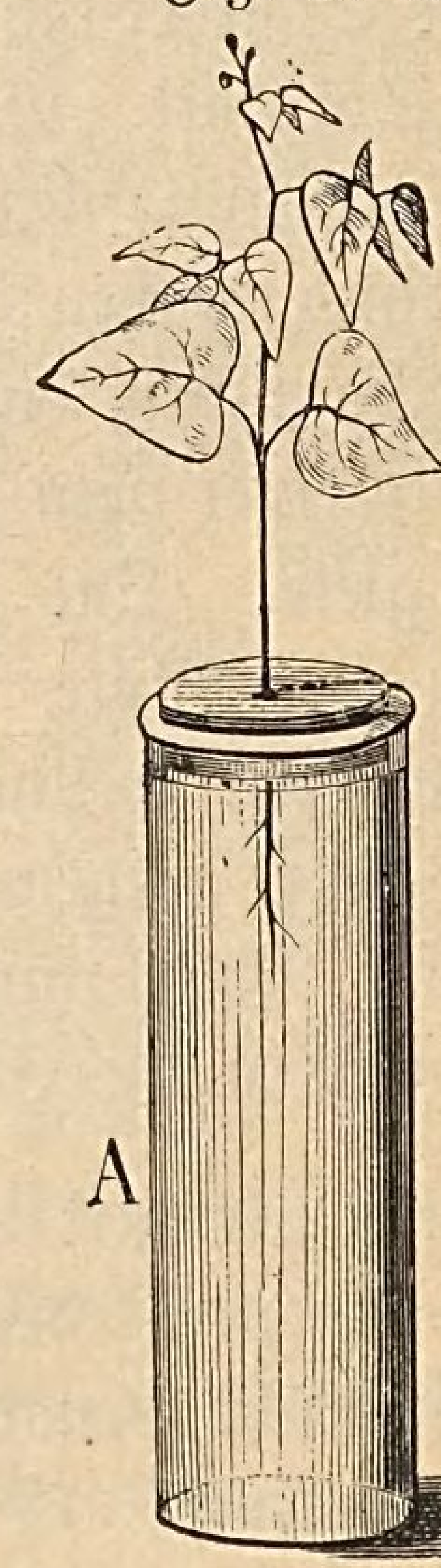
Die Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile für die Funktionen der lebendigen Pflanze kann nicht strenger bewiesen werden, als durch die künstliche Ernährung. Aber das ist nur ein Resultat der Vegetationsversuche. Die Schlüsse, welche sich daraus ziehen

Fig. 20 B.



lassen, sind viel umfassender und die Bedeutung des Experimentes weittragender, als sie durch die Konstatierung der einen Thatsache sein würde. Der künstliche Ernährungsversuch liefert den schlagendsten Beweis für die Bildung organischer Substanz aus atmosphärischer Kohlensäure. Hier ist vollkommene Sicherheit gegeben, daß den Wurzeln keine Spur von Kohlenstoff zugeführt wird. Unsere Nährlösung enthält weder Kohlensäure noch überhaupt eine Kohlenstoffverbindung. Bestimmt man das

Fig. 20 A.



B) Künstlich ernährte Bohne. (Des Raumes wegen ist nur ein Teil der Pflanze abgebildet, die ganze Pflanze war noch einmal so hoch.) A) In destilliertem Wasser erzogene Bohne.

Trockengewicht einer künstlich aufgezogenen Pflanze, so ergiebt sich das 300 fache und mehr des Samengewichtes und diese Menge ist lauter neugebildete organische Substanz, deren gesamter Kohlenstoff der Atmosphäre entstammt. Ein winziger Tabaksame, der nicht einmal ein Milligramm wiegt, erzeugt durch künstliche Ernährung eine mächtige Pflanze, die tausendfach die Substanzmenge des Samens enthält und die selbst tausende von Samen bildet, von denen jeder so viel wiegt, als der ausgesäete. Kein Beweis für die Herkunft der kohlenstoffhaltigen Substanz dieser Pflanze aus der Atmosphäre kann von solcher Reinheit und solchem Nachdruck sein, als der Vegetationsversuch. Aber nicht allein für die Herkunft des Kohlenstoffes liefert er den Beweis, die künstliche Ernährung ist zugleich der einfachste Weg die Quelle des Stickstoffes zu erfahren. Lassen wir aus unserer Nährlösung das salpetersaure Salz fort, so wächst die Pflanze nicht. Wäre sie imstande, den Stickstoff der Luft zu benutzen, so würde man eine Zunahme bemerken müssen, denn die Luft steht zur völligen Ausnutzung zur Verfügung. So ist denn die Methode der künstlichen Ernährung eine Universalmethode, durch welche die fundamentalen Fragen der Ernährungslehre beantwortet und endgültig begründet werden. Tausendfach wiederholt und zu hoher Ausbildung durch die zahlreichen Versuche gelangt, ist sie ein unschätzbares Hilfsmittel der pflanzenphysiologischen Forschung geworden.

Die Lösung einer wissenschaftlichen Frage bildet nur insofern einen Ruhemoment, als neue Fragen ins Auge gefaßt werden. Der naturgemäße Fortschritt besteht im vorliegenden Falle in der Erforschung, welche bestimmte Funktion jeder einzelne, der als unentbehrlich erkannten Mineralstoffe bei den Ernährungsvorgängen in der Pflanze übernimmt. Die künstliche Kultur läßt sich ja leicht in der Weise modifizieren, daß aus der Nährlösung ein einziger Stoff z. B. das Kalium fortgelassen wird. Bei einem derartigen Versuche bleibt die Pflanze in ähnlicher Weise zurück, wie eine in destilliertem Wasser erzogene. Das

Fehlen eines einzigen Aschenbestandteiles genügt also schon, um die Entwickelung zu sistieren. Sichere Anhaltspunkte, welche spezielle Aufgabe dem Calcium, Magnesium und Kalium zufällt, besitzen wir zur Zeit nicht. Es ist Thatsache, daß die Assimilation beim Fehlen eines Stoffes verhindert und ein Gedeihen der Pflanze in keiner Weise möglich ist.

Müssen wir uns für diese Elemente mit dem allgemeinen Resultat ihrer Unentbehrlichkeit begnügen, so ist man imstande eine ganz bestimmte Beziehung eines der mineralischen Stoffe zu einer Erscheinung des Pflanzenlebens nachzuweisen, nämlich die Beziehung des Eisens zur Chlorophyllbildung. Obgleich die Pflanze nur eine sehr geringe Menge von Eisen bedarf, wie schon aus der minimalen Quantität hervorgeht, welche wir unserer Nährlösung zusetzten, so tritt doch die Unentbehrlichkeit des Eisens ganz besonders prägnant zu Tage. Ohne Eisen bildet die Pflanze keine Chlorophyll.

Unterläßt man den Zusatz der kleinen Menge Eisen zur Nährlösung und kultiviert in dem eisenfreien Gemisch eine Bohne, so bemerkt man zunächst noch keine Abnormität in der Entwickelung. Die Pflanze ist kräftig, sie hat grüne Blätter, gesunde Wurzeln und wächst weiter. Bis hierher reichte die kleine Quantität Eisen aus, welche der Same enthielt. Allmählig tritt aber die durch andauernden Eisenmangel verursachte Ernährungsstörung in einer Krankheitserscheinung zutage. Die jüngeren Blätter, welche entstehen, werden blaßgrün und endlich erscheinen vollkommen farblose Blattorgane. Eine vollständige Bleichsucht ergreift die Pflanze, das Chlorophyll fehlt den Blättern ganz und gar. Man bezeichnet diese Wirkung des Eisenmangels als Chlorose. Wir haben früher gesehen, daß Pflanzen, die im Dunkeln heranwachsen, ebenfalls kein Chlorophyll bilden können, allein in der Chlorose haben wir eine ganz andere Erscheinung vor uns, als im Etiolement. Der Chlorophyllmangel findet sich zwar in beiden Fällen, allein durch ganz verschiedene Ursachen

bewirkt. Eine etiolierte Pflanze konnte Eisen zur Verfügung haben, sie bildete doch kein Chlorophyll, da das Licht fehlte. Unsere chlorotische Bohne ist im Licht erwachsen, ihre Bleichheit ist Ursache der Eisenentziehung. Von einer etiolierten Pflanze ist die chlorotische ganz verschieden. Sie zeigt keine Wachstumsabnormitäten, keine verlängerten Internodien und reduzierten Blätter, sondern sie ist ganz normal geformt mit dem Unterschiede, daß ihre Organe farblos sind. Zwei Bedingungen werden also für die Ausbildung des Chlorophylls verlangt, das Licht und die substantielle Zuführung von Eisen.

Die beste Überzeugung von der Notwendigkeit des Eisens für die Chlorophyllbildung gewährt die Möglichkeit, durch Verabreichung einer ganz geringen Eisensalzmenge eine bleichsüchtige Pflanze zu heilen und die Chlorose vollständig zu beseitigen. Es genügt, der Lösung, in welcher die chlorotische Pflanze kultiviert wird, einige Tropfen Eisensalzlösung zuzusetzen um schon nach einigen Tagen die Blätter grün werden zu sehen, bis sie endlich ihre normale Farbe wieder angenommen haben. Es gelingt sogar durch Lokalisierung der Eisenzufuhr eine ganz lokale Ergrünung hervorzurufen. Streicht man mit einem Pinsel eine sehr verdünnte Eisenlösung auf die Oberfläche eines chlorotischen Blattes, so beginnt an dieser Stelle das Blatt zu ergrünen, indem das Eisen resorbiert wird. Auch an Bäumen sind solche partielle Hebungen der Chlorose gelungen. An Kugelakazien mit völlig chlorotischer Blätterkrone brachte man Bohrlöcher am Stamme an und setzte einen Trichter ein. Die eingefüllte Eisenlösung wurde durch das Holz dem nächsten Ast zugeleitet, dessen Blätter grün wurden, während die übrige Krone chlorotisch blieb. Es ist einleuchtend, daß der Eisenmangel für die Pflanze auf die Dauer sehr gefährlich ist. Die Ausbildung des Assimilationsorgans, des Chlorophylls unterbleibt völlig, wenn das Eisen fehlt und die Pflanze ist nicht imstande, sich zu ernähren. Sie geht zu Grunde, wenn der Eisenmangel nicht rechtzeitig gehoben wird. In der Natur kommt nun die Chlorose verhält=

nismäßig selten vor, weil jeder Boden die äußerst kleinen Mengen Eisen, die notwendig sind, enthält. Es ist deshalb auch viel notwendiger bei Kulturen im Lande alle anderen Stoffe der Pflanze zuzuführen als gerade Eisen.

Mit dem bisher Gelesenen ist ein gewisses Ziel unserer Darstellung erreicht. Die Feststellung des gesamten Nährmaterials der Pflanzen ist vollendet. Von allen 65 auf der Erde vorhandenen Elementen sind es nur 10, welche der Pflanzensubstanz, welche aller lebendigen Substanz überhaupt ihr Dasein verschaffen: Der Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel und Phosphor, das Calcium, Magnesium, Kalium, Eisen. Alle Nährstoffe sind unorganischer Natur. Die in der Pflanze erwachten Kräfte ordnen die Atome zu Konfigurationen, in denen der Kohlenstoff die Hauptrolle spielt, zu den Verbindungen von komplizierter Molekularstruktur, die man zweckmäßig als organische bezeichnet. Die Produkte dieser chemischen Vorgänge sind verbrennliche Substanzen, sie können durch Oxydation wieder zerstört werden und zerfallen, indem sie Sauerstoff aufnehmen, wieder in einfachere Verbindungen. Die Thatsache, daß die Pflanzensubstanz verbrennlich ist, führt schon darauf, daß bei ihrer Bildung unbedingt Sauerstoff abgegeben worden sein muß und wir haben uns ja in der That davon überzeugt, daß die Produktion der verbrennlichen Substanz der Stärke mit lebhafter Sauerstoffabgabe verknüpft ist. Das Stoffkapital des Alls ist konstant. Findet hier Verbrauch statt, so muß an anderen Orten durch Zerfall von Substanz das Kapital regenerirt werden. Im Kreislauf des Kohlenstoffes haben wir ein Beispiel dieses Wechselspieles.

Der Ersatz des kohlenstoffhaltigen Nährmaterials, der Kohlensäure, reguliert sich durch die Naturvorgänge ziemlich gleichmäßig und neuer Zufluß in die Atmosphäre folgt der Ausfuhr und begleitet sie. Mit den mineralischen Nährstoffen ist es anders. Der Verwitterungsprozeß, der die Gebirgstrümmer vor-

bereitet und zur Aufnahme ihrer Verbindungen durch die Wurzeln geschickt macht ist ein langsamer und intermittierender Vorgang und nicht immer können Bedarf und Vorrat sich quantitativ decken. Der Boden wird ausgezogen durch die Ernten, er wird ärmer an Nährstoffen und wenn auch noch Millionen an Nährstoffkapitalien im Felsboden angehäuft liegen, das Kapital ist nicht flüssig und das Leben hat keine Geduld. Hier ist der Punkt, wo die rationelle Pflanzenkultur eingreifen, wo der Mensch durch Überlegung den Naturvorgängen, die seinen Zwecken ungünstig sind, entgegenarbeiten kann. Haben wir die sonstigen Bedingungen der Vegetation, Licht, Wärme und Niederschläge nicht in unserer Hand, den Mangel an Bodennährstoffen können wir durch künstliche Zufuhr ersetzen. Was die Pflanze an mineralischen Stoffen braucht, hat die künstliche Ernährung gelehrt und so gut, wie wir Salze im Wasser lösen und damit eine Versuchspflanze ernähren können, so gut können wir die Nährsalze auf die Felder tragen und unsere Pflanzungen düngen.

Trotzdem dies heute so einleuchtend erscheint, dauerte es lange, ehe man von diesen Sätzen überzeugt war. Der geniale Scharfblick Justus von Liebigs war es, welcher diese Wahrheiten erkannte, aber gegen die Wahrheit hat sich bekanntlich von jeher das Menschengeschlecht gesträubt und gewehrt. Liebigs Theorieen hatten die schwersten Kämpfe zu bestehen, ehe ein Durchdringen einigermaßen gesichert erschien. Man hielt damals an alten irrtümlichen Vorstellungen mit einer Zähigkeit fest, einer besseren Sache würdig. Es erschien durchaus unglaubwürdig, daß die Pflanze anorganische, mineralische Nahrung aufnähme, daß ihr Nährmaterial ausschließlich Kohlensäure, Wasser und Salze sein sollte. Man hatte sich fest an eine Vorstellung gewöhnt, welche vor anderthalb Jahrtausenden das Licht erblickte, daß die Pflanze organische Nahrung aus dem Boden aufnähme und zwar hielt man den sogenannten Humus für den eigentlich nährenden Faktor des Bodens. Bekanntlich nennt man auch heute noch Humus jenen durch Vermoderung von Pflanzenresten

entstehenden Bodenbestandteil, welcher ihm die dunkle oft schwarze Färbung mitteilt, welche gute Gartenerde besitzt. Der Glaube an die mystische Wirkung, welche man dem Humus bei der Pflanzenernährung zuschrieb, rührte wohl daher, daß solche dunkle Böden oft bessere Ernten ergaben als andere. Jedermann weiß daß guter Waldboden besonders die humose Beschaffenheit besitzt und die üppige Vegetation, welche den Waldspaziergänger erfreut und erfrischt, mußte — so meinte man — dem Humus verdankt werden. Dabei übersah man nun ganz einen Hauptpunkt, nämlich, daß der Humus, obgleich er das Hauptnahrungsmittel der Pflanzen sein sollte, immerfort zu- und gar nicht abnimmt. Liebig wies dies schlagend nach und seit seinem glänzenden und energischen Auftreten hat die Humustheorie keine Bedeutung mehr. Freilich dauerte es eine geraume Zeit, bis man allgemein den rechten Weg einschlug. Wie bekannt befolgt man heute allgemein die wissenschaftlichen Grundsätze künstlicher Ernährung auch im großen. Eine bedeutende Industrie ist durch die neue Erkenntnis ins Leben gerufen, zahlreiche Düngerfabriken setzen jährlich Millionen um und der Konsum ist ein beträchtlicher, da manches Gut jährlich für 60 bis 100000 Mk. künstlichen Dünger verbraucht. Der Zusatz von sogenanntem natürlichen Dünger, von tierischen Exkrementen hat nur denselben Zweck wie die Düngung mit Salzen. Erstere enthalten die Mineralbestandteile, nur mit nutzlosen Bestandteilen gemischt, also in unreinerer Form und man wendet die Düngung mit Stallmist, Jauche ꝛc. nur an, weil diese Stoffe den Landmann, der zugleich Viehzucht treibt, ein kostenloses Nebenprodukt sind, während er die künstlichen Dünger kaufen muß.

Alle die Substanzen, welche aufgeführt und ausführlich kommentiert wurden, bilden das Nährmaterial der Pflanzen. Sie sind sämtlich ganz unentbehrlich für die Ernährung, aber wenn sie vorhanden sind, so braucht die Pflanze auch nichts Weiteres.

In der Einleitung nun wurde schon erwähnt, daß die Pflanzen trotzdem auch Substanzen aufnehmen können, die ihnen

von keinem Nutzen sind. Geschieht dies, so finden sich diese Stoffe natürlich in der Asche. Natrium und Chlor gehören zu solchen entbehrlichen Bestandteilen der Asche, ebenso das Jod und Brom der Tange. Eine ganze Anzahl von Metallen hat man ausnahmsweise in Pflanzen gefunden, z. B. Zink, Kupfer, Blei und sogar Quecksilber. Alle diese Funde beweisen nur, daß die Pflanze nicht imstande ist, Stoffe, die ihr nichts nützen, zurückzuweisen, vorausgesetzt, daß dieselben in der physikalischen Beschaffenheit, die für die Aufnahme überhaupt maßgebend ist, vor allem in löslicher Form dargeboten werden. Ebensowenig wie ein in den Magen gebrachtes Gift gehindert wird, in den Blutstrom einzutreten, wenn es überhaupt resorptionsfähig ist, ebensowenig kann die Wurzel der Aufnahme eines nutzlosen oder schädlichen Stoffes sich verschließen.

Das Vorkommen solcher entbehrlicher Aschenbestandteile ist im allgemeinen von keinem besonderen Interesse. Nur einem solchen Zubehör der Pflanzenasche wollen wir, seines häufigen Vorkommens wegen, unsere Aufmerksamkeit schenken. Es ist die Kieselsäure, welche in fast allen Pflanzen gefunden wird. Die Verbreitung der Kieselsäure im Pflanzenreich ist eine ganz auffallende. Besonders zeichnen sich einige Pflanzenfamilien durch ihren bedeutenden Gehalt daran aus. So die Boragineen, die Nesselgewächse, der Hopfen, sowie auch unsere Laubbäume Buche Eiche u. a. Bekannt ist der Kieselsäurereichtum der Schachtelhalme, der ihre Sprosse so rauh und hart macht, daß sie in manchen Gegenden als sogenanntes Zinnkraut zum Polieren der Geschirre benutzt werden. Ebenso bemerkenswert ist der Kieselsäuregehalt der Gräser, also auch unserer angebauten Getreidearten. Aber sogar in den kleinsten mikroskopischen Pflanzen entdeckt man Kieselsäure. Die Algengruppe der Diatomaceen ist bekannt wegen der Kieselsäureeinlagerung in die Membran ihrer Zellen. Die Zellhaut dieser Algen besitzt eine merkwürdige Zierlichkeit der Zeichnung, die durch regelmäßige Anordnung von Erhabenheiten hervorgebracht wird. Die ganze fein skulptierte

Membran ist verkieselt und bleibt beim Absterben der Zellen in ihrer ganzen Schönheit zurück. Die Kieselsäure ist nämlich weder hier, noch überhaupt eine oberflächliche Auflagerung auf die Zellen. Die Moleküle der Kieselsäure sind zwischen die Zellstoffmoleküle der Zellhaut eingelagert, so daß eine äußerst innige Durchdringung stattgefunden hat. Bei den meisten Pflanzen sind es namentlich die Wände der Epidermiszellen, welche die Kieselsäure einlagern und die Haare auf der Oberfläche der Blätter. Man kann nicht ohne weiteres mikroskopisch diesen Kieselsäuregehalt wahrnehmen, sich aber durch eine einfache Präparation davon überzeugen. Erhitzt man auf einem Platinblech Stücke eines Blattes, beispielsweise vom Hopfen mit konzentrierter Schwefelsäure, so wird unter lebhafter Reaktion die organische Substanz zerstört und es bleibt endlich ein zarter, unverbrennlicher Rest übrig. Unter dem Mikroskope zeigt dieser Rückstand die Zellwände und Haare scheinbar erhalten. Man hat noch den vollständigen Umriß des Zellgewebes und der Haare vor sich. Es ist aber nur die in feinster Verteilung in die Cellulose eingelagerte Kieselsäure, welche erhalten blieb und nun die Form der Zellen nachahmt. Ein Skelett von Kieselsäure, welches dem lebhaften Angriff der Schwefelsäure widersteht, ist zurückgeblieben.

Trotzdem die Asche der an Silicium reichen Pflanzen oft zur Hälfte aus Kieselsäure besteht, ist dieselbe doch kein Nährstoff, da die Pflanzen ganz ebensogut ohne Kieselsäure leben können, die große Verbreitung und bedeutende Quantität der Kieselsäure in manchen Pflanzen veranlaßte früher dazu, sich eine Meinung über den Nutzen dieses Stoffes für die Pflanzen zu bilden, die zu einer Zeit sehr verbreitet, sich als unrichtig erwiesen hat. Man glaubte nämlich, es werde den Pflanzenorganen, die mit Kieselsäure ausgestattet sind, dadurch ein besonders hoher Grad von Festigkeit verliehen und man fand dies sehr plausibel, da in der That für manche Pflanzen die Festigkeit ihrer Stengel einen großen Nutzen haben mußte. Besonders

zweckmäßig erschien eine solche Einrichtung bei den Gräsern. Bekanntlich sind die Getreidehalme sehr dünn und doch ist diese schwache Säule bestimmt, die Kornähre zu tragen, welche bei ihrer Reife ein ganz beträchtliches Gewicht besitzt. Es ist gewiß eine bewundernswürdige Leistung, daß der Halm die oft so schwere Ähre aufrecht trägt, ohne umzuknicken. Indem man darüber nachdachte, durch welche Mittel dies Problem gelöst würde, kam man zu der Vermutung, daß der hohe Kieselsäuregehalt zur Festigkeit der Halme beitrüge. Diese Ansicht ist nun eine irrige und es war wieder die Methode der künstlichen Ernährung, welche die Entscheidung der Frage herbeiführte. Erzieht man Getreide in einem kieselsäurefreien Boden oder in einer kieselsäurefreien Nährlösung, so stehen die Halme ebenso aufrecht wie die kieselsäurehaltigen. Die Kieselsäure hat mit der Biegungsfestigkeit der Halme gar nichts zu thun. Zu diesem Zwecke sind ganz andere Einrichtungen vorhanden, welche die mechanische Leistung der Grashalme ermöglichen. Der Halm selbst besitzt nicht die nötige Steifheit, um sich aufrecht zu erhalten, dieser Effekt wird durch die Blattscheiden erreicht, welche mit mechanischen Gewebesträngen ausgestattet, den Halm stützen und aufrecht halten. Man braucht nur vorsichtig die Blattscheiden zu entfernen, um sofort den Halm umknicken zu sehen. Die Kieselsäure trägt zur Festigkeit nicht bei. Es scheint oft dem Laien nicht von großer Bedeutung, ob eine wissenschaftliche Frage so oder so entschieden werde, man wundert sich, daß die Gelehrten sich bekämpfen, um eine Meinung durchzubringen und hält das oft für eine unfruchtbare Sache. Die Frage nach dem Nutzen der Kieselsäure bietet ein lehrreiches Beispiel, wie aber eine unrichtige Meinung, die in der Wissenschaft herrscht, auch dem praktischen Leben Schaden bringt. Der Glaube, daß die Kieselsäure den Getreidehalmen eine größere Steifheit verliehe, veranlaßte nämlich in den fünfziger Jahren die Praktiker mit großen Kosten die Felder mit Kieselsäure zu düngen, in der Hoffnung, durch Zuführung bedeutender Kieselsäuremengen das

sogenannte Lagern des Getreides zu verhindern. Es ist bekannt, daß durch die Gewalt starker Regengüsse die Getreidehalme horizontal gelegt werden und dadurch ein Feld schwer geschädigt wird. Man hoffte nun, durch die Kieselsäuredüngung die Halme steifer zu machen und die Kalamität zu beseitigen. Es wurden durch diese Kieselsäuredüngung große Summen verplempert, da das Verfahren gar keinen Erfolg haben konnte. Die Ursache des Lagerns liegt nicht im Mangel der Kieselsäure im Boden, sondern wird durch das teilweise Etiolieren der Halme herbeigeführt. Stehen die Halme auf einem Kornfelde sehr dicht beisammen, so beschatten sie sich gegenseitig an ihren unteren Teilen. Der Mangel des Lichtes ruft die dem Leser bekannten Erscheinungen des Etiolements hervor. Die unteren Halmglieder etiolieren, strecken sich und was verhängnisvoll ist, sie bleiben weich, da die Verholzung beim Etiolieren mangelhaft bleibt. Dadurch ist die Festigkeit des Halmes untergraben und wenn er durch eine Gewalt zu Boden gedrückt wird, so knickt er leicht um und das Getreide lagert sich. Man könnte dem Lagern also nur dadurch in etwas zuvorkommen, daß die Saat weniger dicht gemacht wird, da man aber vor allem den Raum seines Landes ausnützen will, so läßt man es lieber darauf ankommen, ob starke Regengüsse eintreten.

Die Wurzeln.

Luft und Boden sind die beiden in ihrem Aggregatzustande verschiedenen Medien, aus denen die Pflanze ihre Nährstoffe aufnimmt. Mit zweierlei in ihren Eigenschaften diesen beiden Medien angepaßten Organen ist daher die Pflanze ausgerüstet. Für die Luft besitzt sie Blätter, welche von diesem Gasmeer umspült werden und sich in den günstigsten Bedingungen befinden, ihre Aufgabe, die Aufnahme gasförmiger Nahrung zu erfüllen. Die Wurzel ist dagegen das Organ für die Aufnahme der Nährstoffe aus dem Boden und so erscheint der Gegensatz oder viel-

mehr die Ergänzung verständlich, die uns an jeder Pflanze in ihrem beblätterten Stengel und ihrer in den Boden dringenden Wurzel entgegentritt. Blätter und Wurzeln sind beide für ihre spezielle Leistung und ihrem verschiedenen Aufenthaltsorte gemäß mit eigentümlichem anatomischem Bau und besonderen Reizbarkeiten begabt. Das Blatt in der Luft ist keiner Berührung mit festen und harten Körpern ausgesetzt, jederzeit strömt ihm die Kohlensäure von selbst zu, deshalb kann und muß es eine ganz andere Konstruktion besitzen als die Wurzel. Die Wurzel soll nicht nur die Pflanze im Boden festhalten und muß daher schon Widerstand leisten können, sie soll auch hineindringen in den Boden, vorwärts drängen zwischen feste und harte Partikelchen des Erdbodens hindurch. Sie findet nicht, wie das Blatt, welches in die Luft taucht, überall das Nährmaterial bereit, die Wurzel muß kriechen und suchen, ehe sie auf jene Stoffe stößt, welche dem Pflanzenorganismus von nöten sind.

Die komplizierte und vielseitige Thätigkeit der Wurzeln entzieht sich im allgemeinen den Blicken, da sie im Erdboden leben und wachsen. Dasjenige, was man im gewöhnlichen Leben als Wurzeln zu sehen bekommt, nämlich die Wurzeln der als Nahrungsmittel dienenden Kulturgewächse ist wenig geeignet, eine richtige Anschauung vom Wesen einer Wurzel zu geben. Die Wurzeln der Kulturgewächse, der Rüben, Möhren u. a., bei deren Erziehung die Produktion von Substanz das Ziel ist, sind massige, oft durch die Kultur monströs veränderte Erzeugnisse. Typische Wurzeln sehen ganz anders aus, sie sind zarte und empfindliche Organe der Pflanze und von ihrer Reizbarkeit, von ihren Lebensäußerungen kann man keine Ahnung haben, wenn man nur eine plumpe Rübe auf dem Markte betrachtet. Nimmt man aber im Freien eine wildwachsende Pflanze aus dem Boden, so erhält man gewöhnlich nur eine verstümmelte Wurzel. Ein Gewirre von fadenartigen Gebilden, als Wurzelfasern populär sehr unzutreffend bezeichnet, bietet sich den Blicken dar. Viele wichtige Teile der Wurzel sind abgerissen und im Boden ge-

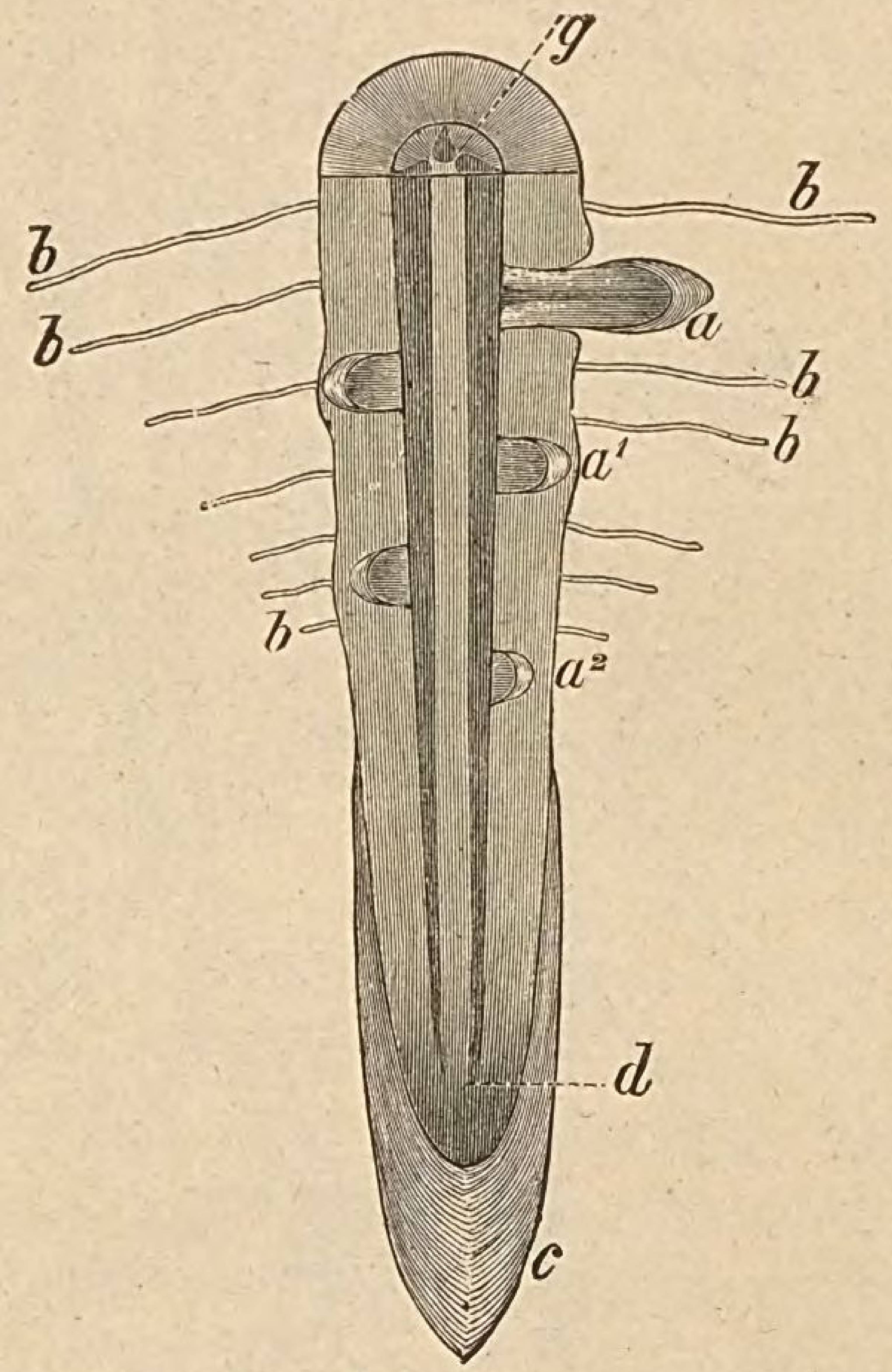
blieben und das Bild ist getrübt durch stellenweise festhaftende Bodenpartikel, welche die Form undeutlich machen.

Viel besser unterrichtet man sich schon über die Wurzel, wenn man einen größeren Samen, eine Bohne, eine Kastanie, ein Mais- oder Weizenkorn keimen läßt und in einem Cylinder für künstliche Ernährungsversuche erzieht. Die junge Wurzel kann sich frei entwickeln und keine Störungen verkümmern ihre natürliche Form. Eine solche Keimwurzel ist ein farbloses, langgestrecktes, cylindrisches, kurz gesagt ein fadenförmiges Organ, natürlich von verschiedenem Umfang nach der Natur des Samens. Dieser Wurzelkörper besteht aus weichem parenchymatischem Gewebe, welches einen Gefäßbündelcylinder umschließt, der in der Wurzelspitze endigt und nach oben mit den Gefäßbündeln des Stammes in Verbindung steht. Eine cutikularisierte Oberhaut, welche bei den Blättern deren Oberfläche bedeckt, fehlt den Wurzeln. Dort hatte die Oberhaut den Zweck, die Blätter vor zu großer Verdunstung zu schützen. Die Wurzel ist im feuchten Boden dieser Gefahr nicht ausgesetzt und bedarf dieses Schutzes nicht.

Trotz alledem haben gerade bei der Wurzel die Oberflächenzellen eine ganz hervorragende Bedeutung aus einem anderen Grunde. Sie wachsen nämlich zu langen Schläuchen aus, zu den sogenannten Wurzelhaaren. Dies sind sehr dünne, wenige Millimeter lange Schläuche, welche nur eine kurze, hinter der Wurzelspitze liegende Partie bedecken und der Wurzel das Ansehen geben, als ob sie an jener Stelle mit einem feinen, weißen Samt überzogen sei. Die Wurzelhaare sind von ganz eminenter Wichtigkeit für die Pflanze. Aus dem Boden soll die Wurzel Wasser und gelöste Nährstoffe aufnehmen und diese Aufsaugung besorgen die Wurzelhaare. Sie sind also noch besondere Organe der Wurzel, die eigentlichen Organe der Aufsaugung. So ist es denn ein Irrtum, zu glauben, eine Wurzel nehme überall mit ihrem ganzen Körper oder etwa mit ihrer Spitze die Bodenlösungen auf. Die Wurzelspitze ganz besonders ist dafür ganz

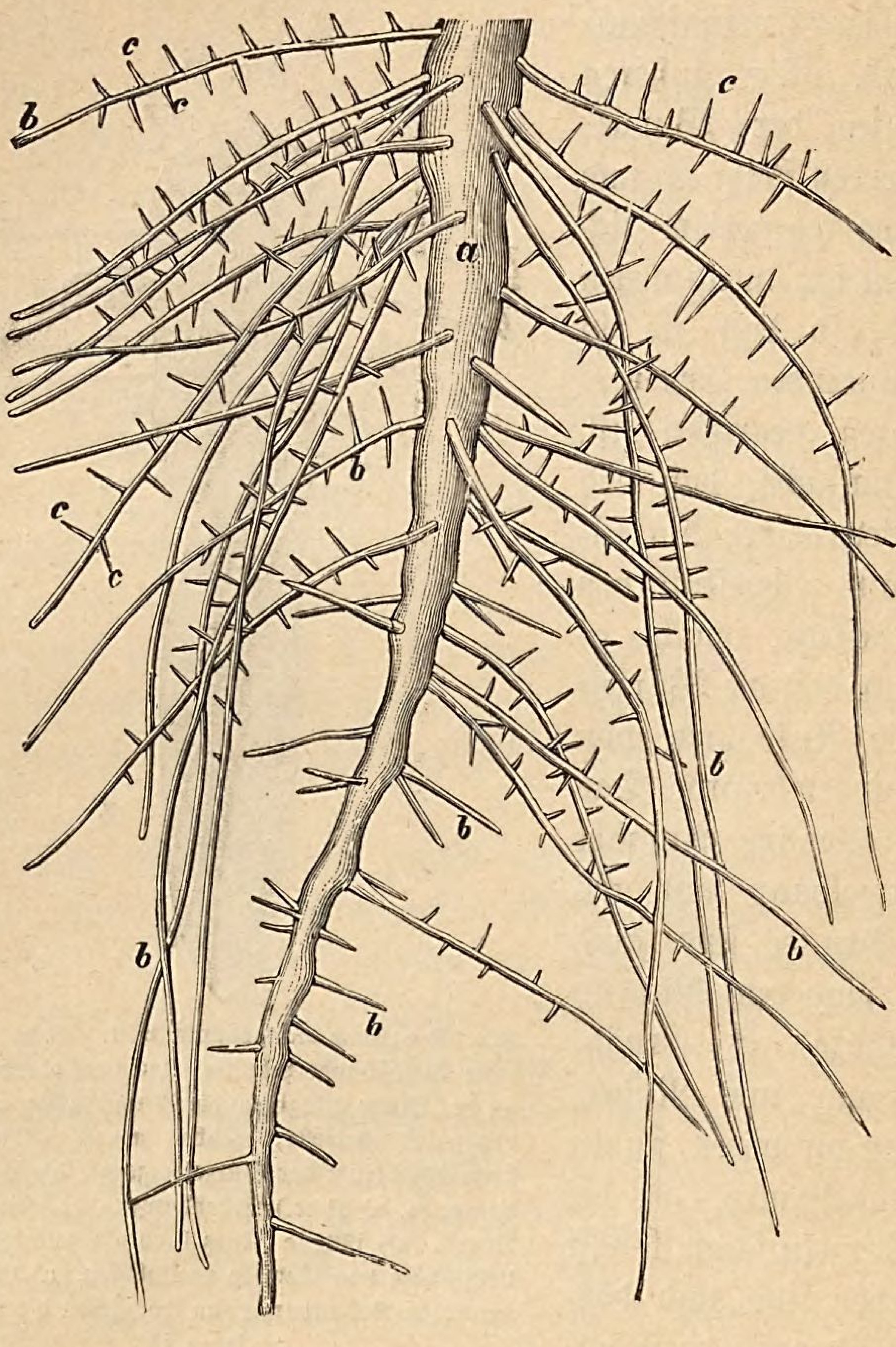
ungeeignet, sie ist bestimmt wie ein Keil im Boden vorwärts zu dringen und um sie bei dieser mechanischen Leistung zu schützen, ist sie mit einer Gewebekappe, der Wurzelhaube bedeckt, wie in unserer Fig. 21 veranschaulicht wird. Die äußeren Zellschichten der Wurzelhaube sterben stetig ab und die Haube regeneriert sich von innen her durch neuen Zuwachs, so daß sie in einem dauernden Erneuerungsprozeß begriffen ist. Diese Thatsache, daß das äußere Gewebe der Wurzelhaube aus abgestorbenen Zellen besteht, macht es unmöglich, daß die Wurzelspitze die Aufnahme von Nährlösungen besorge. Das ist die alleinige Aufgabe der Wurzelhaare und aus diesem Grunde sind auch nur die jüngeren Wurzeln der Pflanze als Ernährungsorgane von Nutzen, denn nur an diesen finden sich Wurzelhaare, die bei alten Wurzeln schon längst abgestorben sind und deshalb ist es auch verständlich, daß eine Pflanze nicht nur eine einzige Wurzel treibt, sondern allmählich Millionen von Wurzeln erzeugt, um immer leistungsfähige Organe zu haben. Die Erzeugung neuer Wurzeln wird dadurch ins

Fig. 21.



Eine Wurzel im Längsdurchschnitt. g) der centrale Gefäßbündelzylinder, welcher oberhalb d an der Spitze endigt. c) die Wurzelhaube. d) embryonales Gewebe, welches neues Zellgewebe beim Wachstum der Wurzel erzeugt. b) Wurzelhaare. (a. a[1] a[2] ꝛc.) Nebenwurzeln verschiedenen Alters. a[2]) jüngste Wurzel ebenso wie a[1] noch vollständig von Gewebe umschlossen. a) hervorbrechende Nebenwurzel an der schon die Haube zu sehen ist.

Fig. 22.



Wurzelsystem einer jungen Roßkastanie. a) Hauptwurzel. b) Nebenwurzeln erster Ordnung. c) Nebenwurzeln zweiter Ordnung.

Werk gesetzt, daß jede Wurzel sich verzweigen kann. Wie der oberirdische Stengel sich verzweigt und Seitensprosse mit neuen Blättern treibt, so verästelt sich die Wurzel im Boden, indem sie Seitenwurzeln bildet. Das geschieht auf folgende Weise. Im Innern des Gewebes einer schon herangewachsenen Wurzel entstehen die jungen Wurzelanlagen, diese strecken sich, wachsen in die Länge und treten endlich ins Freie, indem sie an der Austrittsstelle das Gewebe ihrer Mutterwurzel durchbrechen. Fig. 21 veranschaulicht diese Vorgänge: mit a, a^1, a^2 sind junge Nebenwurzeln bezeichnet, welche von verschiedenem Alter teils noch ganz in der Mutterwurzel stecken, teils z. B. die Wurzel a schon ins Freie getreten sind. Das ist nun nicht ein einmaliger Vorgang, sondern indem die Hauptwurzel heranwächst, bildet sie hinter ihrer Spitze immer neue Wurzelembryonen, so daß die jüngste Nebenwurzel immer der Spitze am nächsten liegt. Jede solche Nebenwurzel ist aber nun wieder eine vollständige Wurzel, sie besitzt Wurzelhaube und Wurzelhaare und sie besitzt nicht weniger die Fähigkeit, selbst wieder Nebenwurzeln aus sich zu erzeugen. So entsteht denn durch diese stetige Verzweigung aus dem einfachen Faden, den eine Keimwurzel uns darbietet, das komplizierte Wurzelsystem, welches wir bei großen Pflanzen finden. Ein solches System im kleinen bildet unsere Fig. 22 ab. Im gewöhnlichen Leben pflegt man wohl ein solches System die Wurzel der betreffenden Pflanze zu nennen. Das ist jedoch eine Ungenauigkeit, denn jeder einzelne Faden ist eine vollständige Wurzel und die Vereinigung derselben ist ein Wurzelsystem. Die Nebenwurzeln pflegen in der Regel in 2, 3 oder mehreren Reihen um die Mutterwurzel zu stehen, so daß sich trotz des scheinbaren Gewirres doch eine bestimmte Ordnung in dem Verzweigungssystem der Wurzeln erkennen läßt. Das Angeführte genügt, um von dem äußeren Aussehen einer Wurzel eine richtige Vorstellung zu erhalten und das ist natürlich das Nächstliegende. Für das Verständnis, wie nun eine Pflanzenwurzel als Ernährungsorgan funktioniert, ist es notwendig, eine

sehr merkwürdige Eigenschaft der Wurzeln zu betrachten, nämlich ihre Empfindlichkeit gegen die Schwerkraft.

Legen wir einen keimenden Samen auf das Erdreich, so wird man bald bemerken, daß die Keimwurzel in den Boden eindringt und zwar ganz senkrecht in denselben hinabwächst. Das ist eine so einfache Thatsache, daß es kaum der Mühe wert scheint, die Aufmerksamkeit darauf zu lenken. Dennoch ist es ein Irrtum, zu glauben, es verstände sich ganz von selbst, daß eine Wurzel senkrecht abwärts wächst. Diese Erscheinung, die ja immer und an jedem Orte wiederkehrt und jedem denkenden Naturbeobachter auffallen muß, ist eine Wirkung der Schwerkraft unserer Erde. Die Wurzel wird durch die Gravitation auf eine uns unbekannte Weise affiziert und durch sie veranlaßt, senkrecht in den Boden hinabzuwachsen. Es ist ja ganz allgemein bekannt, daß alle leblosen Körper auf der Erde dem Einfluß der Schwere unterliegen und das lebende Wesen davon keine Ausnahme machen, erfährt jedermann, da er bei allen seinen Verrichtungen auf diese Kraft Rücksicht nehmen muß. Wenn nun auch die Beachtung viel weniger sich darauf richtet, so versteht es sich aber doch von selbst, daß auch der Pflanzenkörper sich unter dem Einfluß der Gravitation befindet. Allein die Wirkung dieser Kraft auf die Pflanzen ist eine ganz eigenartige. Als Wirkung der Gravitation denken wir gewöhnlich an die Anziehung der Erde auf die Körper, welche durch den Fall demonstriert wird. Damit ist die Wirkung der Schwere auf die lebendige Pflanze nicht zu vergleichen. Die Pflanzenwurzeln sinken nicht etwa durch die Schwerkraft veranlaßt einfach passiv in den Erdboden, wie etwa ein schwerer Körper im Wasser untersinkt. Die Schwerkraft wirkt auf die Pflanze wie ein Reiz und infolge dieses Reizes werden bestimmte Wachstumsvorgänge hervorgerufen, die den Pflanzenteilen eine bestimmte Richtung verleihen. So wachsen denn auch die Wurzeln infolge ihrer Reizbarkeit durch die Schwerkraft in den Boden in senkrechter Richtung hinein. Es ist schwer, sich davon eine klare Vorstellung zu machen, da uns selbst das Ge-

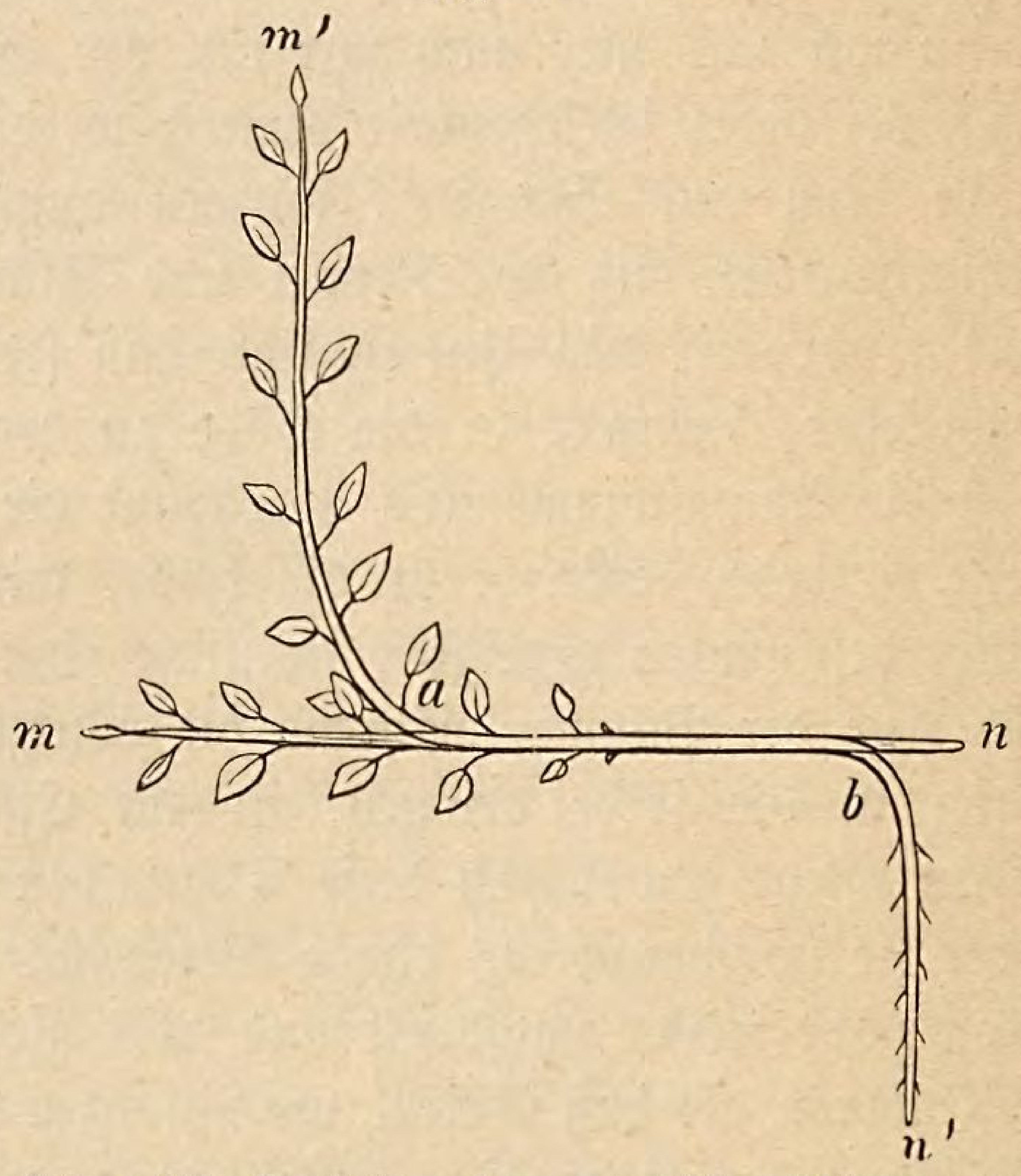
fühl für eine solche Schwerkraftswirkung ganz abgeht. Die Pflanzen haben aber gleichsam ein Gefühl für die Schwerkraftswirkung und wie wir etwa auf einen Reiz durch die Wärme oder das Licht in bestimmter Weise reagieren, so reagiert die Wurzel auf die Wirkung der Schwerkraft. Man nennt die Einwirkung der Schwere auf Pflanzen Geotropismus und dieser ist an allen Pflanzen, an jedem beliebigen Baum ausgeprägt. Denn es mag, wenn wir uns hier auch nur mit den Wurzeln befassen wollen, doch bei dieser Gelegenheit bemerkt werden, daß die Schwerkraft nicht bloß auf Wurzeln, sondern auch auf die oberirdischen Pflanzenteile, auf die Stengel und Stämme der Pflanzen einwirkt, nur mit dem Unterschiede, daß sie diese veranlaßt gerade umgekehrt, senkrecht in die Höhe zu wachsen. Die Thatsache, daß die Baumstämme und überhaupt die oberirdischen Pflanzenteile entweder senkrecht in die Höhe, wie die Stämme, oder in einer bestimmten geneigten Richtung zum Horizont wachsen, wie die Äste der Bäume, während die Wurzeln in senkrechter Richtung in die Erde dringen, ist ein Effekt des Geotropismus. Man pflegt gewöhnlich diese Thatsachen für zufällig zu halten oder sie überhaupt als etwas Gegebenes zu betrachten, über das man nicht weiter nachdenkt und doch giebt es gewiß nichts Auffallenderes, als daß überall, wo Pflanzen wachsen, dieselben in die Richtung des Erdradius gestellt sind, daß überall auf der Erde die Wurzeln nach dem Mittelpunkt der Erde hinwachsen, während der oberirdische Stamm die entgegengesetzte Richtung einschlägt. Es ist aber nicht nur das Überraschende, sondern auch das Wesentliche des Geotropismus, daß die verschiedenen Organe der Pflanzen eine gerade entgegengesetzte Reaktion gegen die Schwere zeigen. Auf die oberirdischen Pflanzenorgane wirkt die Schwere anders als auf die Wurzeln und sie werden eben erst durch ihre verschiedene Reizbarkeit gegen die Schwerkraft zu oberirdischen und unterirdischen Organen.

Natürlich kann der bloße Anblick eines Baumes, der zwar mit dem Ebengesagten übereinstimmt, uns nicht ohne weiteres

dazu zwingen seine Richtung als Wirkung der Schwerkraft anzuerkennen. Der Baum, welcher unter dem Einfluß der Schwere seine endgiltige Richtung angenommen hat, kann uns ebensowenig belehren, wie uns ein in Ruhe befindliches Rad durch bloße Anschauung überzeugt, daß es sich drehen kann.

Um den Geotropismus einer Pflanze kennen zu lernen, müssen wir sie in solche Bedingungen bringen, daß der Geotropismus durch Bewegungen sichtbar wird, wir müssen ein Experiment machen.

Fig. 23.



Schematische Darstellung der geotropischen Krümmungen von Sproß und Wurzel. Der bewurzelte Sproß m n wurde horizontal gelegt und nach einer gewissen Zeit hat der Sproß die Stellung m', die Wurzel die Stellung n'. Der Sproß hat sich aufwärts, die Wurzel abwärts gekrümmt.

Bringt man eine mit Sproß und Wurzel versehene, noch im lebhaften Wachstum befindliche Pflanze aus ihrer natürlichen aufrechten Stellung in die horizontale Lage, so beginnt die Pflanze sehr bald, indem sie weiter wächst, Bewegungen, Krümmungen zu machen. Man könnte glauben, Sproß und Wurzel würden trotz der veränderten Lage einfach nach entgegengesetzten Richtungen weiter wachsen. Das ist nicht der Fall, sondern es tritt folgende Erscheinung ein. Die Schwerkraft, welche bei der horizontal gelegten Pflanze senkrecht zur Längenaxe der Pflanze wirkt, übt auf dieselbe einen Reiz aus, infolgedessen das Sprossende beginnt sich aufwärts zu krümmen und so lange langsame pendel-

artige Bewegungen zu machen, bis es vollständig wieder senkrecht steht. Die horizontal gelegte Wurzel dagegen krümmt sich abwärts und dringt, wenn wir die Pflanze auf den Erdboden legten, in diesen ein. Diese Erscheinung ist ebenso rätselhaft, wie die uns geläufige Attraktion, welche die Schwere auf einen fallenden Körper ausübt und dennoch damit nicht zu vergleichen. Wir haben uns die Wirkung der Schwere auf die Pflanzenorgane ganz anders vorzustellen. Sie übt auf die lebendige Pflanzensubstanz, auf das Protoplasma eine Reizwirkung aus, welche mit ausgiebigen Bewegungen verbundene Wachstumsvorgänge hervorruft. Denn es ist ja einleuchtend, daß die geotropischen Krümmungen nur durch Wachstum zustande kommen können und zwar durch ungleichseitiges Wachstum des Stengels und der Wurzel. Nach der Krümmung des Stengels oder der Wurzel ist die konvexe Seite länger als die konkave, eine Seite ist also durch die Schwerkraft veranlaßt worden, stärker zu wachsen als die andere. Besonders merkwürdig ist es aber, daß beim Sproß und Wurzel diese Seiten nicht die gleichen sind. Am horizontal gelegten Sproß wurde die dem Erdboden zugekehrte Seite länger und der Sproß mußte dadurch sich aufwärts krümmen, bei der Wurzel dagegen verlängerte sich die dem Erdboden abgewandte Seite, wodurch die Wurzel eine Krümmung nach abwärts machte. Beide Organe zeigen also ein verschiedenes Verhalten gegen die Schwere, sie haben einen verschiedenen Geotropismus, der in der entgegengesetzten endgiltigen Richtung zum Ausdruck kommt.

Für dies verschiedene Verhalten sind zwei besondere Bezeichnungen eingeführt. Unter dem Einfluß der Schwere senkrecht abwärts wachsende Organe nennt man „positiv geotropisch“, die sich umgekehrt verhaltenden „negativ geotropisch“. Im allgemeinen sind die Sprosse meist negativ, die Wurzeln dagegen positiv geotropisch.

Wollte man fragen, ob es auch wirklich die Schwerkraft sei, welche alle diese Erscheinungen hervorruft, so läßt sich darauf mit einem einfachen und überzeugenden Beweis antworten: Auf

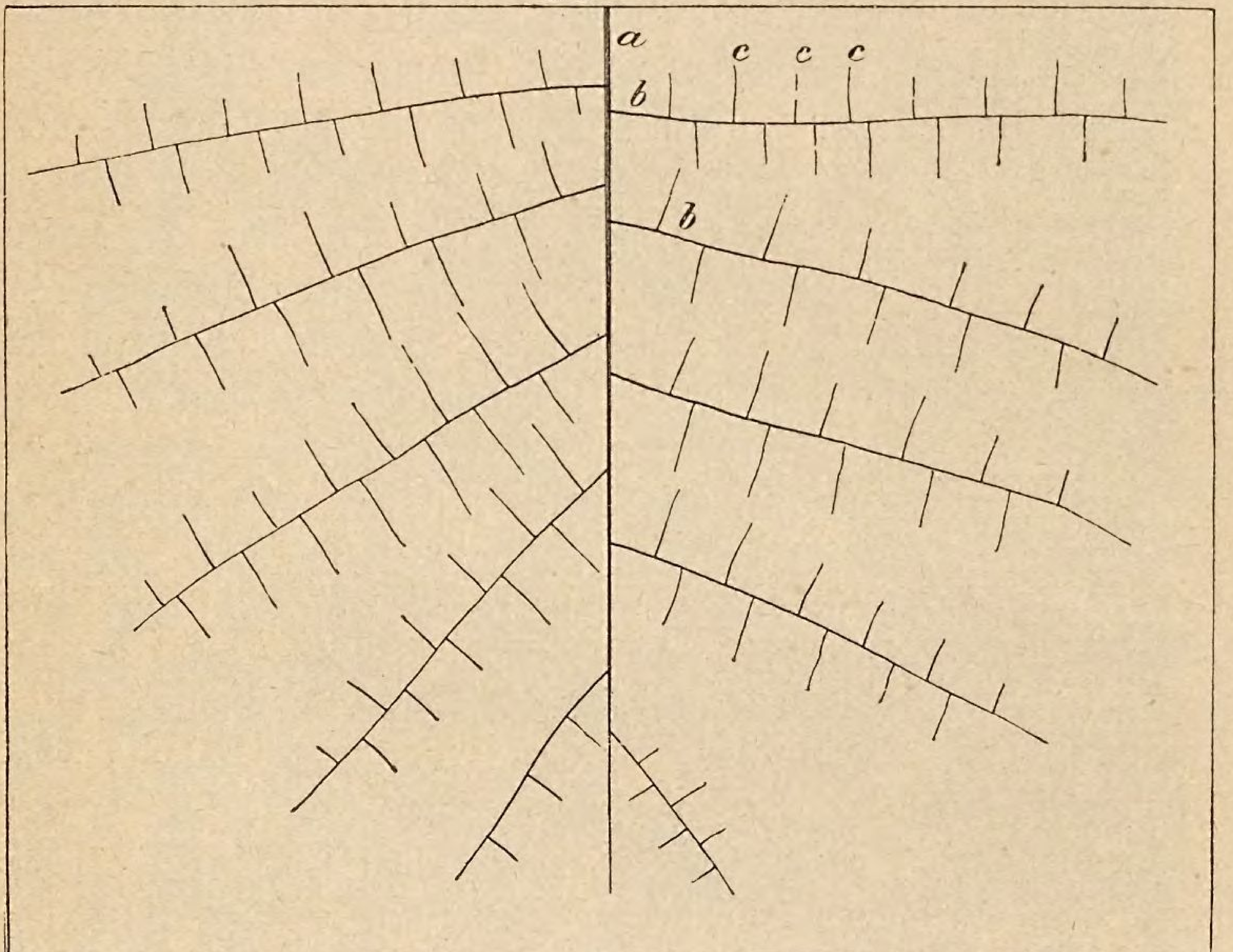
der ganzen Erde wachsen die Bäume in derselben Weise, bei unseren Antipoden nicht anders als bei uns. Ihr Stamm wächst vom Erdmittelpunkt fort, ihre Wurzel demselben entgegen. Sie gehorchen einer Kraft, welche in der Richtung des Erdradius wirkt und diese Kraft kann nur eine sein: die Schwerkraft.

Aus dem, was dem Leser eben über die Eigenschaften der Wurzeln mitgeteilt wurde, wird es erst verständlich werden, daß dieselben auch wirklich imstande, sind, ihrer Aufgabe für die Ernährung der Pflanzen zu genügen. Wir werden jetzt sehen, wie einerseits durch den geschilderten Bau der Wurzel, andererseits durch ihre Reizbarkeit gegen die Schwerkraft ihre Thätigkeit im Boden in für die Pflanze zweckdienlicher Weise von statten gehen kann.

Die Bodenbestandteile sind unbeweglich, sie kommen der Wurzel nicht entgegen, vielmehr muß diese sie gleichsam aufsuchen. Der Geotropismus der Wurzel ermöglicht es ihr in den Boden einzudringen und die ihr zuständigen Stoffe nutzbar zu machen. Für diese Notwendigkeit würde es eine recht unvollkommene und die Existenz der Pflanze auf die größten Glücksfälle anweisende Einrichtung sein, wenn die Wurzel als ein einfacher Faden wie sie ist, im Boden fortwüchse. Das Bodenareal, welches diese einfache Wurzel durchzöge, wäre nur ein äußerst kleines. Nur der Region, welche auf gerader Linie des Wurzelweges läge, könnten ihre nützlichen Bestandteile entzogen werden und wie zweifelhaft muß es erscheinen, daß die Wurzel gerade auf ihrer Richtung alle notwendigen Bodennährstoffe antreffen würde. Man könnte das Gedeihen der Pflanze keinem roheren Zufall preisgegeben denken. Im Hinblick hierauf leuchtet es ein, daß die Fähigkeit der Wurzel sich zu verzweigen, nicht eine sinnlose zufällige Einrichtung ist. Durch das Vermögen Seitenwurzeln zu erzeugen, wodurch das äußerst reiche und ausgedehnte Verzweigungssystem entsteht, kann die Pflanze ein ganz bedeutendes Bodenareal mit ausreichender Abgabefähigkeit bestreichen. Ein Schema, welches die Fig. 24 abbildet, erläutert,

in wie ökonomischer Weise der Boden von einer Pflanzenwurzel verwertet wird. Das Rechteck möge die Grenze eines Stückes Erdboden andeuten, in welchem die positiv geotropische Hauptwurzel a senkrecht hinabgewachsen ist. Zunächst hat die Hauptwurzel die Nebenwurzeln b getrieben und zwar nicht nur, wie es in der Zeichnung nicht anders angedeutet werden konnte, nach

Fig. 24.



Schema der Bodenausnutzung durch die Wurzelverzweigung. a) Hauptwurzel. b) Nebenwurzel 1. Ordnung. c) Nebenwurzeln 2. Ordnung.

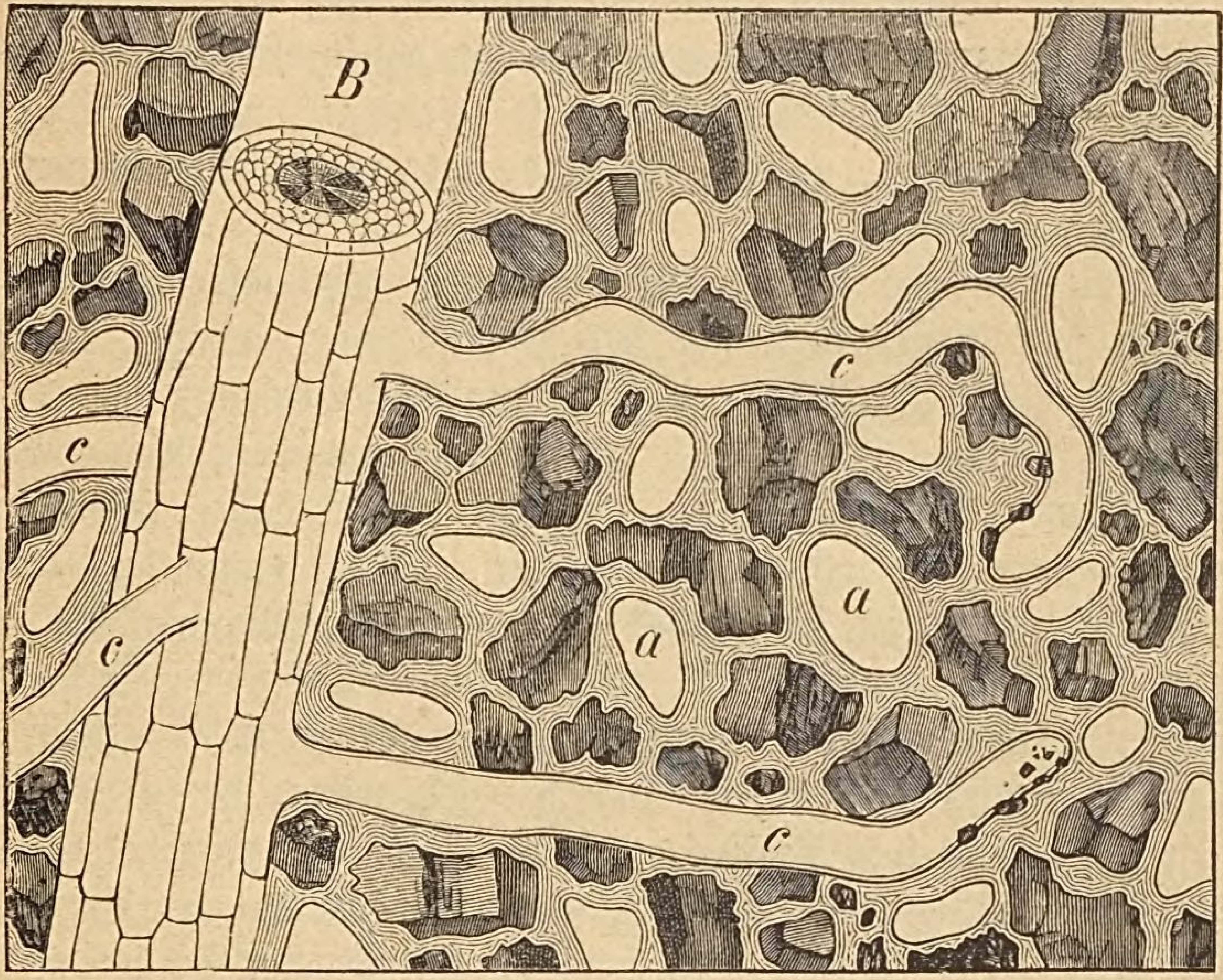
rechts und links, sondern auch nach anderen Richtungen, welche nicht in der Ebene des Papiers liegen. Kann die Hauptwurzel nur eine Linie bestreichen, so ist durch die Nebenwurzeln ein bestimmtes Kubikmaß des Erdbodens okkupiert. Es bliebe aber zwischen zwei Nebenwurzeln erster Ordnung (b) noch viel unbenutztes Material, wenn nicht die sekundären Nebenwurzeln (c) durch ihre Richtung auch diese Partieen zur Ausnutzung heran-

zögen. Nach allen Seiten ist durch die Verzweigung der Wurzeln der Boden in Besitz genommen und so leicht kann diesem Wurzelsystem, welches in der That viel reicher und komplizierter ist, als unser Schema, kein nutzbares Nährmaterial entgehen. Dies ganze System wäre aber gar nicht in der Gestalt möglich, wenn die Haupt- und Nebenwurzeln alle gleich stark geotropisch wären. Die Reizbarkeit durch die Schwerkraft veranlaßt oder zwingt vielmehr die Hauptwurzel senkrecht abwärts zu wachsen. Wären die Nebenwurzeln in derselben Weise geotropisch, wie die Hauptwurzel, so würden sie gemeinschaftlich mit ihr denselben Weg verfolgen, sich dicht aneinanderlegen und trotz größerer Zahl die Leistung nicht wesentlich erhöhen. Nun sind aber die Nebenwurzeln erster Ordnung sehr wenig, die zweiter Ordnung gar nicht empfindlich für die Wirkung der Schwere. Während die stark geotropische Hauptwurzel senkrecht abwärts wachsen muß, können die nicht geotropischen Nebenwurzeln in anderen zur Mutterwurzel geneigten oder senkrechten Richtungen fortwachsen. Statt eines Bündels aneinander gedrängter, in einer und derselben Richtung wachsender Wurzeln entsteht das nach allen Richtungen ausstrahlende Wurzelsystem, welches unser Schema erläutert und dadurch wird dann der Boden vollständig ausgenutzt. Der Bodenraum, welchen eine große Pflanze imstande ist, durch die eben angedeuteten Verhältnisse für die Ernährung nutzbar zu machen, ist in der That sehr groß, größer als man vermutet. Ein großer Baum hat 8 bis 10 Meter weit im Umkreis den Boden durch Wurzelbildung unterminiert und die Menge seiner Wurzeln ist ein ganz immense. Der Baum besitzt, ganz wie er eine oberirdisch ausgebreitete Krone hat, gleichsam eine ebenso ausgedehnte unterirdische Krone, die aus Wurzeln besteht.

Die Notwendigkeit dieser großen Wurzelmengen wird begreiflich werden, wenn man sich erst ein Bild von der Thätigkeit der Wurzeln gemacht hat. Man pflegt sich gewöhnlich den Vorgang, wie die Wurzeln Wasser und Bodenbestandteile aus dem

Erdreich aufnehmen sehr einfach vorzustellen. Der kurze Ausdruck, die Wurzel nimmt Bodenwasser auf, verbirgt aber eine ganze Folge der kompliziertesten Vorgänge. Vor allen Dingen sind es, wie schon erwähnt, die Wurzelhaare, welche die Aufnahme des Wassers besorgen. Es ist aber in dieser Leistung

Fig. 25.



Verhalten einer Wurzel im Boden. (Nach den Studien von Sachs). B) Teil einer Wurzel mit Wurzelhaaren c.

den zarten Organen eine schwierige Aufgabe gestellt, deren Lösung der Anschauung etwas näher gerückt werden soll.

Der Kulturboden besteht, wenn wir von den organischen Resten absehen, aus den Partikeln, welche durch Verwitterung der Gesteine entstanden sind. Er ist gleichsam ein grobes Pulver von Gebirgsbestandteilen, die locker aneinanderliegend zahlreiche Zwischenräume zwischen sich lassen, die bei trockenem Boden mit

Luft erfüllt sind. Wird der Boden mit Wasser benetzt, so ist klar, daß es einen Teil der Zwischenräume einnimmt, indem es die Luft verdrängt. Das überschüssige Wasser kann zwar abfließen und zum Teil verdunsten, aber selbst, wenn der Boden wieder lufttrocken geworden ist, hält er noch eine Quantität Wasser zurück. Jedes Bodenpartikelchen hält nämlich Wasser fest. Das Wasser wird von den Flächenkräften der Bodensplitterchen angezogen und umgiebt jedes von ihnen mit einer Wasserhülle. Man kann sich dies etwa so vorstellen, wie die Skizze Fig. 25 erläutert, und so ein Bild, wie es im Bodeninneren aussieht, gewinnen.

Die dunkelschraffierten Körper von unregelmäßigem Umriß stellen feste Gesteinstrümmer des Bodens dar, zwischen denen sich die als weiße Räume gezeichneten Luftlücken (a) befinden. Jedes Bröckchen ist von einer Wasserhülle umgeben, was durch die welligen Linien angedeutet ist. Alle Wasserhüllen stehen in unmittelbarer Verbindung miteinander. Findet daher irgendwo ein Wasserverbrauch statt, wird z. B. vom Wurzelhaar c Wasser aufgenommen, so pflanzt sich diese Gleichgewichtsstörung auf alle Wasseransammlungen fort und es findet nach dem Verbrauchsorte eine Strömung statt, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Die Aufnahme von Wasser an einem Orte des Bodens durch eine Wurzel pflanzt diese Störung fort und veranlaßt eine Wasserströmung von entfernteren Orten nach demjenigen des Verbrauches. Unsere Figur zeigt uns einen Teil einer im Boden abwärts wachsenden Wurzel B. Zur Erleichterung der räumlichen Vorstellung ist der Querschnitt der Wurzel in deren Längsansicht hineingezeichnet. Die Oberflächenzellen der Wurzel sind uns zugewendet und einige derselben zu Wurzelhaaren ausgewachsen. Es ist zu der Zeichnung noch zu bemerken, daß man sich die Wurzelhaare nicht als einfache leere Schläuche vorzustellen hat. Sie haben wie alle lebendigen Zellen einen Inhalt von Protoplasma, der in der Zeichnung der Einfachheit wegen, weggelassen wurde. Die Wurzelhaare wachsen zwischen den Bodenpartikelchen

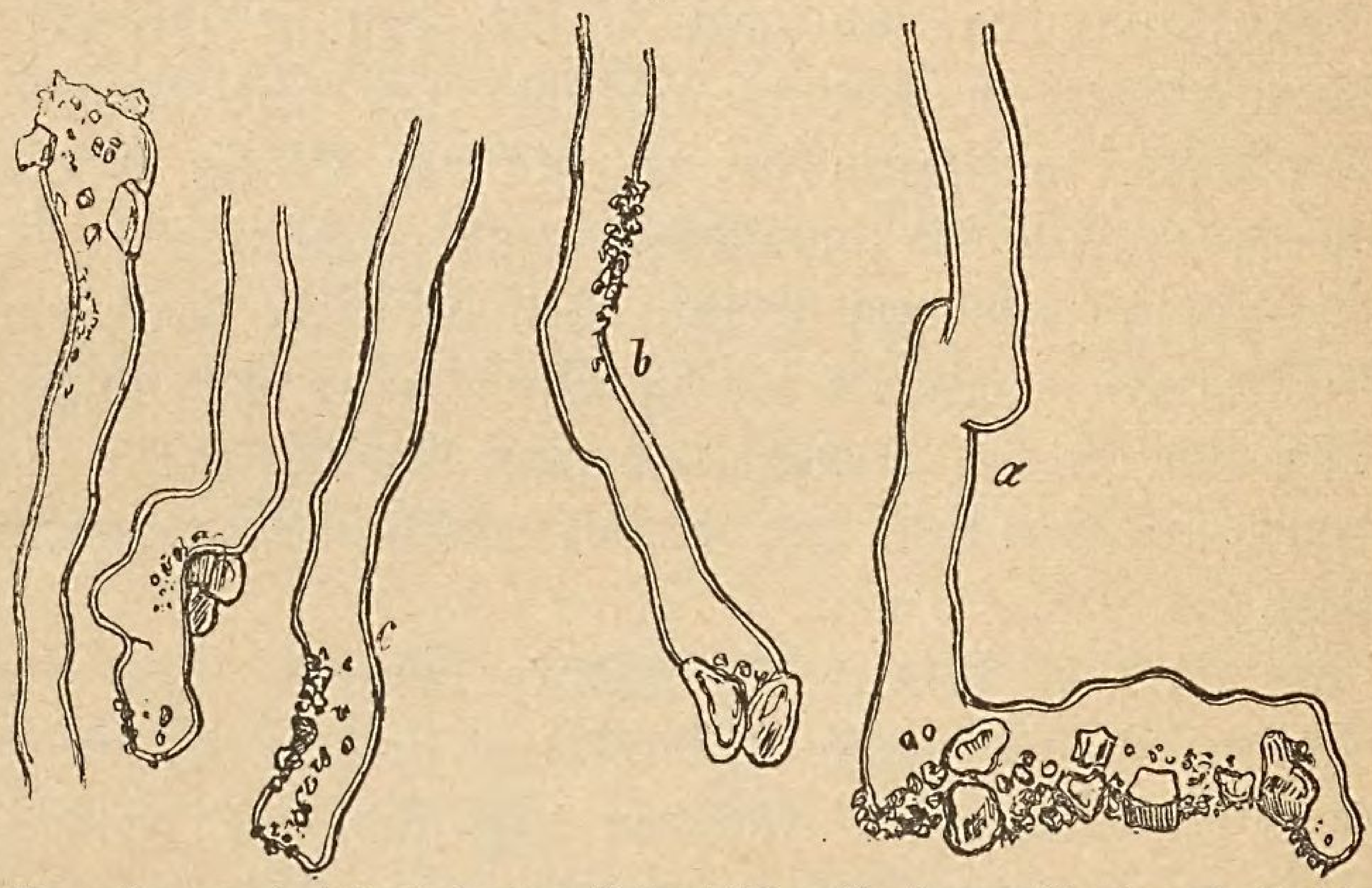
hin und können, wie man sieht, zunächst sehr leicht Wasser aufnehmen. Überall kommen die Wurzelhaare mit Wasser in Berührung, welches natürlich einen Teil der Nährsalze des Bodens aufgelöst enthält. Auf diese Weise erhält die Pflanze ein schon mit geringen Mengen fester Bestandteile beladenes Wasser. Allein die Wurzelhaare wirken selbst aktiv auf die Bodensubstanzen ein und bringen sie in direkter Weise in Lösung. Sie sind nämlich imstande, eine Säure auszuscheiden, durch welche die Lösung der in reinem Wasser sehr schwer löslichen Mineralien begünstigt wird. Die Wurzelhaare legen sich fest an die Bodenteilchen an und zwar so fest, daß sie förmlich mit denselben verwachsen scheinen. Zieht man eine Keimpflanze aus der Erde, so hängen der Wurzel eine Menge Erdteilchen fest an und bilden eine Umhüllung, welche nicht abfällt. Befreit man die Wurzel von dem größten Teil der Erde durch vorsichtiges Schwenken in Wasser, um die Wurzelhaare nicht abzureißen, so lassen sich einzelne Wurzelhaare unter dem Mikroskop bequem beobachten und man sieht, daß die Bodenteilchen ihnen untrennbar anhaften.

Wie stark die Wurzel die Gesteine angreift, kann man in der Natur oft an glatten Felswänden beobachten, die durch Wurzeln korrodiert sind. Schöner läßt sich dies durch einen sorgfältig angestellten Versuch demonstrieren. Legt man auf den Boden eines Gefäßes eine glatt polierte Marmorplatte, schüttet Erde darauf und pflanzt einen Samen hinein, so wachsen nach der Keimung die Wurzeln abwärts und treffen auf die Marmorplatte. Hier am weiteren Abwärtswachsen gehindert, kriechen die Wurzeln auf der Platte hin und die Wurzelhaare lösen durch die Säure, welche sie ausscheiden, einen Teil des Marmors auf. Auf diese Weise entsteht, da die Korrosion nur an den Stellen erfolgt, welche die Wurzel unmittelbar berührt, ein vollständiger matter Abdruck der Wurzel, welchen sie auf dem glattpolierten Marmor einätzte.

Es ist vorauszusehen, daß die Wurzelhaare, denen im Ver-

gleich zu ihrer zarten Struktur eine harte Arbeit auferlegt ist, bei ihren Leistungen stark affiziert werden. Sie funktionieren in der That deshalb auch nur kurze Zeit, nur wenige Tage und sterben dann ab. Aber an Stelle der abgestorbenen, welche gänzlich vertrocknen und verschwinden, erzeugt die Wurzel während sie vorwärts wächst, Millionen neuer Wurzelhaare, die wiederum nur einige Tage dauern um zu verschwinden und immer wieder einer neuen Generation Platz zu machen. So wandert die Wurzelspitze, indem sie immer neue Haare erzeugt,

Fig. 26.

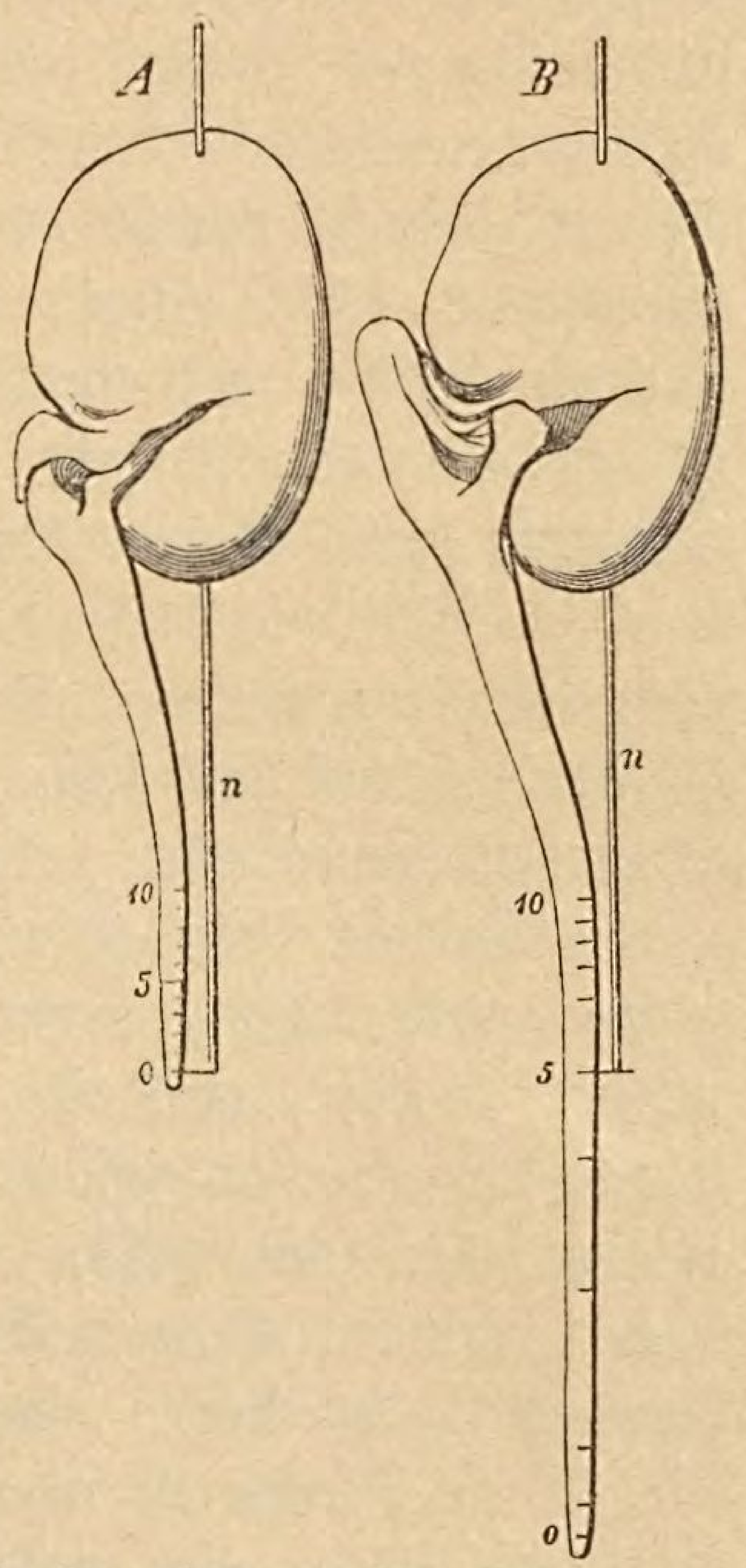


Wurzelhaare mit festanhaftenden Bodenteilchen (stark vergrößert) nach Sachs.

im Boden vorwärts, immer Bodenräume, welche schon ausgenutzt sind, hinter sich lassend und neue Gebiete aufsuchend. Dies Vorwärtsdringen der Wurzel im Boden geschieht natürlich durch Wachstum. Man darf sich aber nicht vorstellen, als ob die Wurzel in ihrer ganzen Länge gleichmäßig wüchse. Nur eine sehr kurze Zone der Wurzel ist immer im Wachstum begriffen, eine Zone die 8—10 oft nur 2—3 mm lang ist. Die wachstumsfähige Region ist aber nicht die äußerste Spitze der Wurzel selbst, wie man wohl deshalb vermuten könnte, weil hier das embryonale Gewebe liegt, welche der Wurzel neues Zellgewebe zufügt. Die

Zone des Wachstums, der Streckung, liegt nahe hinter der Wurzelspitze. Man kann sich von dieser Thatsache überzeugen, wenn man auf einer Keimwurzel mittelst eines feinen Pinsels und chinesischer Tusche in gleichem Abstand Teilstriche von der Spitze an beginnend aufträgt, wie die Fig. 27 erläutert. Lassen wir die Wurzel wachsen, indem wir den Samen mit einer Nadel an den mit Kork belegten Deckel eines mit Wasser versehenen Cylinders befestigen, so werden nach einiger Zeit die Tuschmarken an der wachsenden Region auseinandergerückt sein. Die Veränderung zeigt deutlich, daß nur eine kurze und zwar eine hinter der Spitze liegende Region sich lebhaft gestreckt hat.

Fig. 27.



Eine Keimpflanze von Vicia Faba, welche mit einer Nadel in einem mit Wasser versehenen Cylinder befestigt ist. Die Wurzelspitze der Fig. A ist in B gewachsen und zwar kann man durch Vergleich der Teilstriche sehen, daß das Wachstum vorwiegend zwischen 0 und 5 stattgefunden hat. (Nach Sachs).

Auch dies ist eine Thatsache, die von ganz wesentlicher Bedeutung ist. Es wird dadurch, daß die wachsende Partie der Wurzel nur sehr kurz ist und dicht hinter der Spitze liegt, das Eindringen der Wurzel in den Boden gefördert. Die sich streckende Zone treibt die konische Wurzelspitze vor sich her, die Kraft des Stoßes ist nahe hinter diese Spitze konzentriert und wie ein Nagel durch einen Hammer wird die Wurzelspitze in den Boden getrieben.

Ohne alle diese Einrichtungen, welche man an den Pflanzenwurzeln entdeckt hat, würden sie ihrer schwierigen Aufgabe nicht gerecht werden können. Man braucht nur zu überlegen, unter welchen Bedingungen eine Pflanze oft vegetiert, um sich verwun-

dernd zu fragen, wie sie dazu imstande ist. Wie außerordentlich gering sind oft die Wassermengen, welche der Boden enthält und doch sind die Pflanzen prall und frisch. In der heißen Zeit des Sommers, nach langer Dürre, ist der Boden oft ein staubtrockenes Pulver, aus dem man durch den stärksten Druck keinen Tropfen Wasser herauspressen kann. Dennoch können wir oft Pflanzen eines solchen Bodens sehen, welche nicht welk sind, ein Beweis, daß sie noch Wasser sogar aus diesem trockenen Erdreich aufnehmen. Die Thätigkeit der Wurzelhaare, welche die geringsten Mengen Wasser noch nutzbar machen können, ermöglicht es den Pflanzen, in dem scheinbar ganz trockenen Boden zu vegetieren. Natürlich giebt es eine Grenze. Die Wurzelhaare suchen das durch die Molekularkräfte der Bodentrümmer festgehaltene Wasser auf, aber eine Pflanze ist doch nicht imstande dem Boden das Wasser bis auf das letzte Molekül zu entziehen. Nach Beobachtungen von Sachs*) fing eine Tabakspflanze an zu welken — ein Beweis, daß es ihr an Wasser mangelte — als der Boden noch 12,3% seines bei 100° C. bestimmten Trockengewichtes Wasser enthielt. Dieser bei 100° getrocknete Boden konnte 46% Wasser aufnehmen. Mithin waren für die Tabakpflanze nur (46—12,3) 33,7% Wasser disponibel, während 12,3% unerbittlich vom Boden festgehalten wurden. In jedem Falle hält der Boden eine bestimmte Menge Wasser energisch fest. Diese Menge ist aber nach der besonderen Beschaffenheit bei jedem Boden eine verschiedene. Ein Lehmboden, z. B. enthielt als eine Pflanze ihm kein Wasser mehr entziehen konnte und zu welken begann, nur 8%, ein Sandboden nur mehr 1,5% Wasser. Eine Pflanze kann also nach der besonderen Art des Bodens bald längere, bald kürzere Zeit Trockenheit ertragen. Dagegen nehmen allerdings auch die verschiedenen Böden bei der Bewässerung nicht die gleiche Menge Wasser auf. Während ein humoser Boden 46% Wasser faßte, nahm Lehmboden 52,1% an, Sand dagegen konnte nur 20,8% Wasser aufnehmen. Es

*) Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen S. 173.

ergiebt sich darum, daß wenn man trockenen Sandboden mit Wasser sättigt, derselbe doch nicht so lange vorhält, als ein humoses Erdreich, obgleich der Sand bis auf 1,5% alles Wasser abgiebt, während der humose Boden 12,3% zurückhält. Für die Praxis ist es natürlich von Wichtigkeit, die Wasserkapazität eines Bodens zu kennen, zu wissen, ob derselbe eine große oder geringe Durchlässigkeit für Wasser besitzt. Bei einem durchlässigen Boden, wie es z. B. der Sand ganz besonders ist, versinkt das Wasser bei einer Benetzung in die Tiefe, bis es auf eine undurchlässige Schicht trifft, auf welcher es sich sammelt oder nach der Richtung der Neigung dieser Schicht abfließt und unter Umständen an einem entfernten Ort als Quelle wieder zu Tage tritt.

Die Durchlässigkeit für das Wasser, die mehr oder minder allen Bodenarten zukommt, muß nun anscheinend für die Pflanzen von Nachteil sein. Das Wasser, welches nach Regengüssen abfließt, löst mineralische Bestandteile des Bodens auf und führt, indem es in die Tiefe sinkt aus den oberen Bodenschichten wertvolle Nährsalze mit sich fort, wie ja der Gehalt unserer Quellen an Salzen beweist. So kann wohl die Besorgnis entstehen, daß das Wasser schließlich jedem Boden seine wertvollen Bestandteile durch Lösung entführe, daß häufige Regengüsse den Boden auswaschen und ihn steril machen müßten. Nun besitzt aber der Boden eine ebenso merkwürdige, wie im Haushalte der Natur eminent wichtige Eigenschaft, welche einem solchen möglichen Auslaugen entgegentritt. Der Boden ist im stande die festen Bestandteile wässeriger Lösungen festzuhalten und niederzuschlagen, so daß bei der Filtration durch das Erdreich die Salze zurückbleiben und fast reines Wasser abfließt. Man nennt diese Fähigkeit die Absorption des Bodens. Diese Eigenschaft läßt sich durch ein einfaches Experiment beobachten. Füllt man einen großen Trichter mit Ackererde und begießt ihn mit einer Lösung von frischgefälltem phosphorsaurem Kalk oder phosphorsaurer Magnesia in kohlensäurehaltigem Wasser, so kann man ein Quan-

tum Flüssigkeit, welches durch die Ackererde filtriert, auffammeln. Allein das abfließende Wasser ist nun vollkommen frei von Phosphorsäure, die Salze sind aus der Lösung durch die Bodenbestandteile niedergeschlagen worden. Es ist nicht möglich, diese Thatsache vollkommen zu erklären. Es können physikalische oder chemische Molekularkräfte diese Erscheinung bewirken. Jedenfalls ist das Faktum von größter Wichtigkeit für die Praxis und sichert den Erfolg der künstlichen Düngung. Besäße der Boden seine Absorptionsfähigkeit nicht, so würde die größte Menge künstlich zugeführter Nährsalze nach jeden Regen in die Tiefe geführt und der Zweck den Pflanzen Nährstoffe zuzuführen würde nur unvollkommen erreicht.

Bei dem Studium der Wurzelthätigkeit im Boden muß man einsehen, daß einer Wurzel oft Schwierigkeiten entgegentreten können, die nötige Wassermenge zu finden. Dennoch würde man einen Irrtum begehen zu glauben, eine Landpflanze würde besser gedeihen, wenn ihre Wurzeln sich dauernd in einem mit Wasser gesättigten Boden befänden. Die Wurzeln der Landpflanzen sind für das Leben im trockenen Boden organisiert und werden in einem sehr feuchten oder nassen Boden krank. Nur gewisse Pflanzen haben sich den Verhältnissen eines sehr stark bewässerten Bodens angepaßt, wie die Sumpfpflanzen. Eine echte Landpflanze ist auf trockenen Boden angewiesen. In einem mit Wasser gesättigten Boden fehlt es ihren Wurzeln an Luft, welche dieselben zur Atmung bedürfen. Aus dem Grunde entwässert man den Kulturboden durch Gräben oder durch Drainage und macht großartige Anlagen, um den Wasserüberschuß abzuführen. Ist ein Boden stets sehr naß, so faulen die Wurzeln und die Mißerfolge, welche Pflanzenliebhaber oft mit ihren Topfpflanzen haben, sind sehr häufig darauf zurückzuführen, daß die Pflanzen zu viel begossen werden. Einen Blumentopf darf man erst dann wieder begießen, wenn die Erde vollkommen trocken geworden ist.

Wenn man nun sogar, wie wir bei der künstlichen Ernährung gesehen haben, eine Landpflanze vollständig im Wasser er-

ziehen kann, so ist doch keine Frage, daß ihr Gedeihen im festen Boden ein anderes und vollkommeneres ist. Es wird, wie es scheint durch die Berührung der Wurzeln mit den festen Bodenteilen ein besonderer Reiz auf jene ausgeübt, welche ihr normales Gedeihen veranlaßt oder fördert. Es muß sogar den verschiedenen Bodenarten ein besonderer bestimmender Einfluß auf das Wurzelwachstum zuerkannt werden. Bei einschlägigen Versuchen wuchsen in einem Glascylinder Maispflanzen, deren Wurzeln zuerst durch eine Schicht guter Erde, dann durch Sand und endlich wieder in eine Erdschicht dringen mußten; oberhalb und unterhalb des Sandes hatte eine reichlichere Verzweigung stattgefunden, als in diesem selbst, den nur wenige und dünne Wurzelstränge durchzogen. Auch Ausgrabungen von Kulturpflanzen zeigten, daß die Bewurzelung in der lockeren oberen Bodenschicht eine bedeutend reichlichere ist als in dem festern lehmigen, sonst fruchtbaren Untergrunde. Es ist also ganz zweifelsohne eine Beeinflussung des Wurzelwachstums durch die physikalische Beschaffenheit des Substrates deutlich erkennbar.

Es leuchtet ohne weiteres ein, wie wichtig alle diese Verhältnisse sind und die Notwendigkeit einer Vertrautheit mit diesen durch die wissenschaftliche Beobachtung festgestellten Thatsachen bei der praktischen Pflanzenkultur liegt auf der Hand. Ohne ein gründliches Studium der Pflanzenphysiologie müssen sowohl die Erfolge als die Mißerfolge der Kultur ganz unerklärbar, das günstige Resultat ein ebenso dunkler, unverständlicher Glücksfall, wie das ungünstige eine unheilbare Zufälligkeit bleiben. Die Pflanzenphysiologie ist nicht nur ein Monopol der Gelehrten, sie ist eine der wichtigsten Wissenschaften für alle diejenigen, die sich mit praktischer Pflanzenkultur beschäftigen.

Ist im Vorstehenden das Wichtigste über die Wurzel als Ernährungsorgan mitgeteilt worden, so müssen wir doch noch einen kurzen Anhang beifügen.

Die Wurzel hat nämlich für die Pflanze eine doppelte Bedeutung. Sie dient nicht allein der Ernährung, sondern sie ist

auch das Haftorgan der Pflanze, sie ermöglicht ihr einen festen Standpunkt im Boden. Auch dieses ist von großer Wichtigkeit. Eine Pflanze muß um zu gedeihen einen festen Halt haben. Würde sie desselben auf irgend eine Weise beraubt, so würde nichts aus ihr werden. Es ist daher diese zweite Aufgabe der Wurzel kennen zu lernen von Interesse. Sie tritt besonders in gewissen Fällen in den Vordergrund, z. B. bei vielen Wasserpflanzen. Für die Wasserpflanzen, welche untergetaucht leben, ist ein wasserzuführendes Organ ganz entbehrlich, Die Transpiration, welche bei der Landpflanze die Ursache bedeutenden Wasserverlustes ist, fällt bei den untergetauchten Wasserpflanzen ganz fort, sie können nicht transpirieren. Aus diesem Grunde brauchen und besitzen viele Wasserpflanzen kaum nennenswerte Wurzeln. Wasserpflanzen die nun aber im bewegten Wasser oder gar im durch Stürme aufgerüttelten Meere leben, würden kaum gedeihen, wenn sie durch jede Welle hin und her geworfen oder durch die Brandung gegen die Küste geschleudert würden. Sie sind daher mit Wurzeln ausgestattet, um sich festzuhalten. Die Wurzel funktioniert als Haftorgan und befestigt die Pflanzen auf dem Boden der Gewässer oder an den Felsen der Meeresküste. So bieten sie dem Andrang des Wassers einen gewissen Widerstand, der allerdings bei den Meerestangen oft durch die Gewalt der Wellen überwunden wird, welche die Pflanzen von ihren Standorten losreißen und wie bekannt, oft in Massen an den Strand werfen. Aber bei der Gelegenheit kann man sich gerade überzeugen, wie fest die Wurzeln dennoch halten, da dieselben nicht einfach ihren Befestigungsort losgelassen, sondern ganze Felsstücke mitgerissen haben, welche die Haftwurzel fest umklammert hielt. Die Aufgabe des Anklammerns hat die Wurzel bei vielen kletternden Pflanzen, z. B. beim Epheu. Der Epheu besitzt schwache, schmächtige Stengel, die nicht imstande sind, sich straff aufrecht zu erheben. Wenn man sich erinnert, daß es für die Ernährung der Pflanze ein dringendes Erfordernis ist, ihre Blätter dem Licht entgegenzubreiten, so ist ein Gewächs wie der Epheu in

entschiedenem Nachteil durch seine Organisation. Der Epheu besitzt aber in seinen Haftwurzeln die Mittel zum Ausgleich dieses Mangels. Außer der ernährenden Wurzel, welche den Epheu im Boden befestigt, brechen am Stengel, neben den Blattstielen, zahlreiche dünne Wurzeln hervor, welche sich reichlich verzweigen können. Mit ihnen klammert sich der Epheu an einen erreichbaren Gegenstand, an einen Baum oder eine senkrechte Wand.

Die Haftwurzeln legen sich der Unterlage dicht an und befestigen die leichte Guirlande. Höher und höher kriecht der Epheu an seiner Stütze hinauf, immer neue Haftwurzeln treibend und das zugewachsene Sproßende sofort befestigend. So gelangt er trotz seiner in einer Hinsicht mangelhaften Organisation doch hinauf ans Licht. Diese Dienstleistung wird den Wurzeln nun aber durch zweierlei weitere Reizbarkeiten ermöglicht, welche sie außer dem Geotropismus noch besitzen. Die Wurzeln sind nämlich empfindlich gegen Licht und Feuchtigkeit. In ähnlicher Weise wie durch die Schwerkraft werden die Pflanzenorgane durch das Licht gereizt, Krümmungen zu machen, welche man heliotropische nennt. An jedem Fenster kann man diese Reaktion gegen das Licht beobachten. Die heliotropischen Krümmungen sind entweder dem Lichte zugeneigt oder von ihm abgewendet. Die meisten Sprosse sind positiv heliotropisch, d. h. sie neigen sich dem Licht zu, während die größte Anzahl der Wurzeln das Licht flieht, negativen Heliotropismus besitzt. So sind auch die Epheuwurzeln negativ heliotropisch; vom Lichte getroffen machen sie Krümmungen, um eine beschattete Stelle aufzusuchen und da eine Wand, die der Epheu bewächst, von seinem Laube beschattet wird, so drücken sich alle Wurzeln, durch ihren negativen Heliotropismus veranlaßt, der Wand um so fester an, wodurch der erstrebte Zweck möglichst gefördert wird. Es ist hinzuzufügen, daß das Licht sogar bewirkt, daß die Wurzeln ausschließlich auf der beschatteten Seite des Epheustengels entstehen, was ebenfalls die Erreichung des Zieles erleichtert.

Die andere Reizbarkeit der Wurzeln ist die für Feuchtigkeits-

differenzen. Infolge dieser können sie Krümmungen machen, welche sogar dem Geotropismus entgegenwirken. Wächst eine Wurzel im Dunkeln in eine Umgebung von gleichmäßig feuchter Luft hinein, so folgt sie ihrem Geotropismus und wächst senkrecht abwärts. Ist die Feuchtigkeitsverteilung um die Wurzel eine ungleichmäßige, wird ihr z. B. an einer Seite eine feuchte Fläche eine Zeitlang nahe gebracht, so krümmt sich die Wurzel der feuchten Fläche entgegen und legt sich derselben an. Es ist leicht einzusehen, welchen Nutzen diese Reizbarkeit der Wurzel bei der Aufsuchung des Wassers im Boden haben muß. Aber auch für die Befestigung ist sie von Nutzen, da die Wurzeln sich an feuchtere Flächen dicht anschmiegen können. Noch genug andere Beispiele lassen sich anführen, wo die Wurzeln vorwiegend als Haftorgane dienen. In den Urwäldern der Tropen, wo die Menge der Pflanzen sich drängt und Raum und Licht sich gegenseitig streitig macht, gilt es, jeden Vorteil auszunutzen.

Es gilt vor allem, seinen Platz zu sichern, um dann zu sehen, wie man weiter kommt. Auf alten verwetterten Stämmen siedeln sich die Orchideen an und leihen für einen Sitz den Bäumen ihre Blütenpracht. Sie benutzen ihre Wurzeln, die sich der Unterlage fest anlegen, als Klammerorgane. So machen es auch die Tillandsien und Aroideen, welche zahlreiche Luftwurzeln aus ihrem Stamm treiben, um damit Stützen zu umgreifen und sich festzuhalten. Natürlich tritt in allen diesen Fällen die Bedeutung der Wurzel als Haftorgan besonders hervor, ohne daß sie darum die Ernährungsfunktion aufgegeben und verloren hätte. Die Luftwurzeln wachsen bei vielen Pflanzen langsam abwärts und erreichen endlich den Boden, wo sie dann eindringen und nun als Ernährungsorgane funktionieren. Es ist ja auch bekannt genug, daß man jedes Stück Epheu mit seinen Haftwurzeln einpflanzen kann.

Die Bewegung des Wassers in der Pflanze.

1. Der Transpirationsstrom und seine Ursachen.

Wasser durchtränkt alles Lebendige, es ist die Lebensflüssigkeit κατ᾽ ἐξοχήν. Der trockene Same zeigt kein Leben und ohne Zutritt des Wassers bleibt er unverändert. Das Wasser erst erweckt ihn; wenn wir den Samen quellen lassen und feucht halten, erwacht das latente Leben des Keimes, der Embryo treibt Wurzel und Knospe hervor. Die Stoffe des Samens wandeln sich in Organbestandteile um und werden Träger vitaler Äußerungen. Ohne das Wasser würde der Same Jahrtausende ruhen, wie die Weizenkörner in den Mumiensärgen Ägyptens. Ohne Wasser können die Nährstoffe des Bodens nicht an die Verbrauchsorte gelangen. Ohne Wasser findet weder Ernährung, noch Wachstum, noch sonst eine Lebensthätigkeit statt.

Zur Notwendigkeit der Allgegenwart des Wassers bildet die Thatsache einen Gegensatz, daß die Pflanze nur ein Organ der Wasseraufnahme besitzt, nämlich die Wurzel. Durch die Blätter wird kein Wasser aufgenommen, sie sind die Organe für die Aufnahme gasförmiger Nahrung. Dennoch soll vorzugsweise, wie wir wissen, in die Blätter Wasser gelangen, einmal, um an der Bildung der Stärke teilzunehmen und ferner, um die Bodensalze, ohne deren Zufuhr die Assimilation nicht stattfinden kann, in die Blätter hineinzuführen. Es ergiebt sich daraus, daß notwendig eine Bewegung des Wassers stattfinden, daß ein Strom von dem Ort der Aufnahme, von der Wurzel, durch die ganze Pflanze gehen muß, um überall Wasser hinzuschaffen, wo es zur Verwendung kommen soll. Dieser Wasserzufluß muß ein dauernder und stetiger sein. Unterlassen wir bei heißem Wetter tagelang eine Topfpflanze unseres Gartens zu begießen, so läßt sie ihre Blätter hängen; die Pflanze ist welk, weil die Wasserzufuhr aufgehört hat. Begießen wir die Erde des Topfes und führen dadurch der Wurzel Wasser zu, so breiten sich alsbald die Blätter in ihrer früheren Frische und Straffheit wieder aus.

Das Welken der Pflanzen zeigt uns deutlich, daß die Pflanze in jedem Moment Wasser verliert, daß sie, wie man sich kurz ausdrückt, transpiriert. Es liegt in der Natur der Dinge, daß der Wasserverlust unter gewöhnlichen Umständen nur an den oberirdischen Organen stattfinden kann. Es sind vorzugsweise die Blätter, welche durch ihre Flächenausbreitung die Transpiration unterstützen. Bedeutende Mengen Wasser werden von den Blättern in die Luft gehaucht, mehrere Liter kann diese Menge täglich bei großen Stauden betragen und von großen Bäumen mit tausenden von Blättern, werden hunderte von Litern in einem Tage verdunstet.

Diese Thatsache könnte nun, so dargestellt, recht zwecklos erscheinen. Es hätte ja keinen Sinn, daß die Blätter in jeder Sekunde Wasser verdunsten, wodurch die stetige Notwendigkeit eintritt, daß von unten her neues Wasser nachkommen muß, wenn die Transpiration nicht eine ganz bestimmte Bedeutung für die Existenz der Pflanze hätte. Die Transpiration löst eine ganz wesentliche Aufgabe bei der Ernährung, die aus folgender Erörterung klar werden wird. Das Wasser, welches die Mineralbestandteile den Blättern zuführt, stellt eine äußerst verdünnte Lösung dar. So wenig ist darin von mineralischen Nährstoffen aufgelöst, daß man in der That diese Lösung als „Wasser" zu bezeichnen berechtigt ist, da diese Lösung eben keine andere ist, als die, welche wir zum Trinken benutzen. Unser Trinkwasser, welches ebenso geringe Quantitäten von Salzen aufgelöst enthält, werden wir deshalb nicht als Salzlösung bezeichnen. Die Salzquantitäten, welche das Bodenwasser den Pflanzen zuführen kann, sind also äußerst geringe und dennoch lehrt die künstliche Ernährung sowohl wie die Kultur im Lande, daß die Pflanze merkbare Quantitäten der Nährsalze für ihr Gedeihen verlangt. Äschern wir die Blätter einer Pflanze ein, so bleibt eine ganz erkleckliche Aschenquantität zurück, ein Beweis, daß die Pflanze mehr Stoffe dieser Art anhäuft, als die verdünnte Bodenlösung vermuten ließ. Dieser Punkt ist es, den wir im Auge zu be-

halten haben, um zu einer richtigen Erkenntnis von der Bedeutung der Transpiration zu gelangen. Dadurch daß die Blätter Wasser transpirieren, muß, das ist einleuchtend, die äußerst verdünnte Lösung der Bodensalze in den Blättern konzentriert werden, denn nur das Wasser kann verdunsten, die Salze bleiben in den Blättern zurück. Aber der Prozeß geht fort — neues Wasser, wieder mit unmerklich kleinen Salzmengen beladen, strömt aufwärts, durch erneute Verdunstung entflieht das Wasser, und so fort. So ermöglicht es die Transpiration, nach und nach die nötige Menge von Salzen, welche die Blätter bedürfen, aus der gegebenen verdünnten Lösung, aus dem „Wasser“ anzusammeln. Die Transpiration ist demnach nicht nur ein das Leben der Pflanze begleitender Vorgang, sondern ein für die Ernährung äußerst wichtiger Prozeß, die Blätter sind nicht nur zufällige Vermittler der Transpiration, sie dienen diesem Zwecke neben der Aufgabe der Stärkebildung, sie sind Organe der Transpiration.

Es ist natürlich, daß es sich bei allem Ebengesagten nur um Landpflanzen, oder besser gesagt, um Luftpflanzen handelt. Die Wassergewächse, welche untergetaucht leben, können nicht transpirieren, da das Wasser sie allseitig umgiebt. Bei ihnen sind diese Vorgänge nicht vorhanden und auch nicht nötig. Die Wasserpflanze kann an allen Orten ihres Körpers die nötigen Stoffe aufnehmen, es ist keine Aufnahme des Wassers durch die Wurzel, keine Fortleitung nach entlegenen Teilen nötig und wir finden dementsprechend bei den Wasserpflanzen auch ganz andere Organisationen.

Die Wurzel der Landpflanzen nimmt Wasser auf, die Blätter verdunsten es und diese Thätigkeit besorgen die Blätter des niedrigen Krautes, wie die des Baumriesen, dessen äußerste Spitze 100 Meter emporragt. Der Weg, den das Wasser von der Wurzel zurückzulegen hat, kann also unter Umständen ein ganz beträchtlicher sein und es stellt sich ganz von selbst die Überlegung ein, wie das Wasser hinaufgelangen mag in den Gipfel hoher Bäume, welche Wege es macht, seinen Bestimmungsort zu

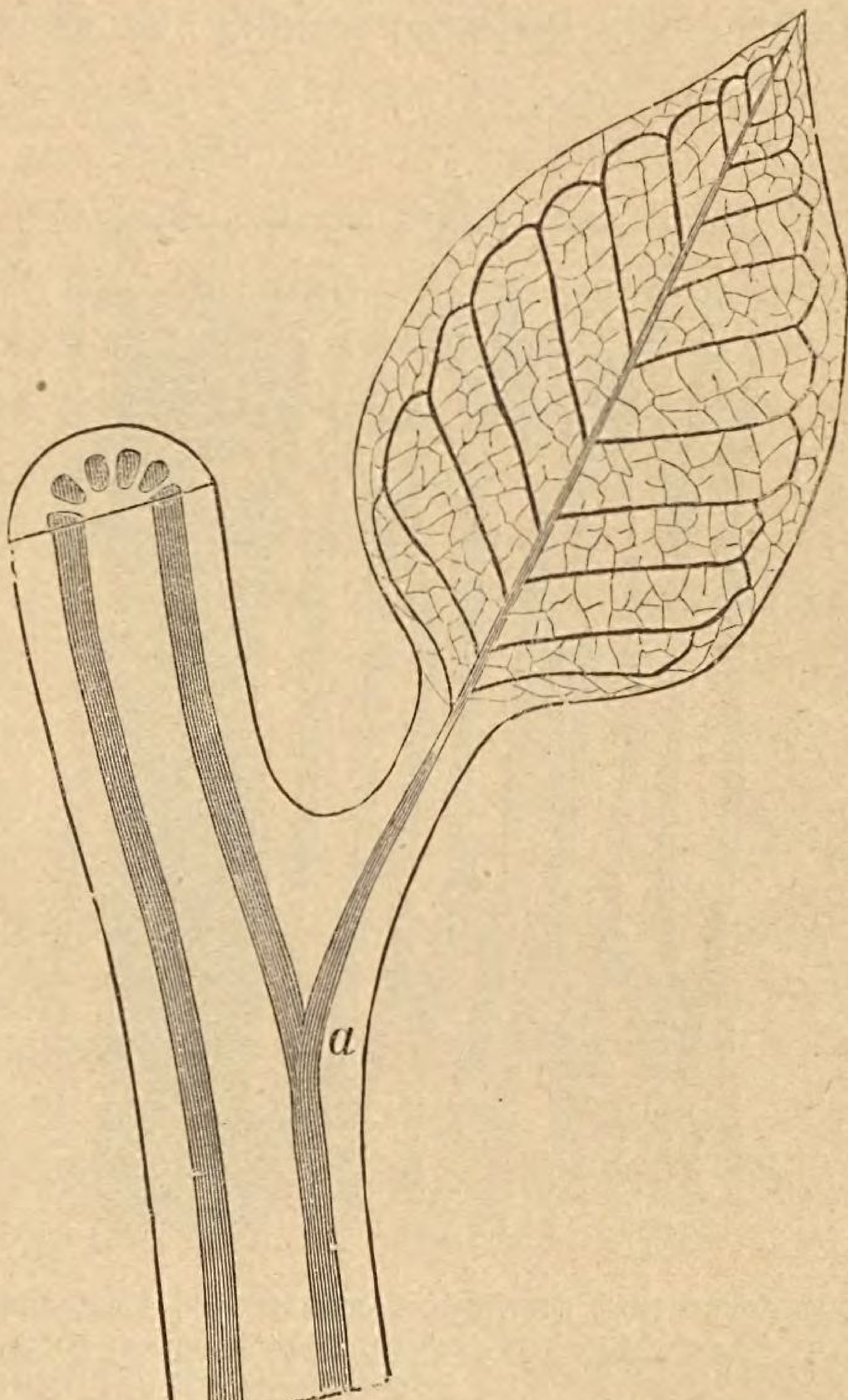
erreichen. Wir finden zunächst in der Pflanze Gewebe, welche das Wasser in bestimmte Bahnen lenken, auf denen es weitere Strecken durcheilt. Dies sind die Gefäßbündel. Natürlich findet auch in den parenchymatischen Zellen eine Wasserbewegung statt, indem durch Diffusion das Wasser von Zelle zu Zelle treten kann. Aber um diese Verhältnisse handelt es sich nicht bei dem Transpirationsstrom. Was hier unter der Bezeichnung Wasserbewegung besprochen werden soll, ist die schnelle Bewegung des Wassers auf weite Strecken. Um diese zu vermitteln, würde die Diffusion nicht ausreichen, obgleich man zu Zeiten diese unrichtige Meinung hegte. Wenn sich das Wasser in der Pflanze nur von Zelle zu Zelle bewegen sollte, würde der Transport ein ungemein langsamer sein und ein Blatt wäre längst vertrocknet, ehe die Wasserzufuhr anlangte.

Die Wege des Wasserstromes sind bestimmte Gewebestränge. Nimmt man irgend einen krautigen Stengel, z. B. eine Balsamine, einen Kürbisstengel u. s. w. zur Hand, so kann man schon äußerlich in dem grünen Gewebe hellere Längsstreifen unterscheiden. Es sind das die Gefäßbündel, die man noch besser erblickt, wenn man mit einem scharfen Messer der Länge nach den Stengel durchschneidet. Sie verlaufen der Länge nach durch den ganzen Stengel und es ist klar, daß dadurch eine Verbindung der Wurzel mit allen oberirdischen Teilen hergestellt ist.

Besonders bemerkenswert ist, daß in jeden Blattstiel ein Gefäßbündel einbiegt und in das Blatt übertritt. Von diesem Übergang des Gefäßbündels in das Blatt und von dem komplizierten Verzweigungssystem, in welches es sich nach diesem Übergang auflöst, giebt die schematische Fig. 28 eine Anschauung. Bei a biegt ein Gefäßbündel in das Blatt ein und läßt sich, durch den Blattstiel verlaufend, bis zur Spitze des Blattes verfolgen. In symmetrischer Anordnung gehen von diesem mittleren Strange unter spitzen Winkeln beiderseits gegen den Rand verlaufend Bündel aus, welche sich in bogigem Verlauf miteinander verbinden. Das Blattgewebe, welches zwischen diesen Rippen liegt,

occupieren weitere, zartere Verzweigungen des Gefäßnetzes und so entsteht ein immer enger werdendes Maschenwerk, dessen letzte Endigungen endlich blind im Gewebe auslaufen. Man erkennt ohne weiteres in diesem Gefäßbündelnetz dasjenige, was man im gewöhnlichen Leben als Blattnervatur bezeichnet. Während wir schon früher die mechanische Bedeutung der Nervatur kennen lernten, tritt jetzt die Beziehung derselben zur Wasserbewegung in den Vordergrund.

Fig. 28.

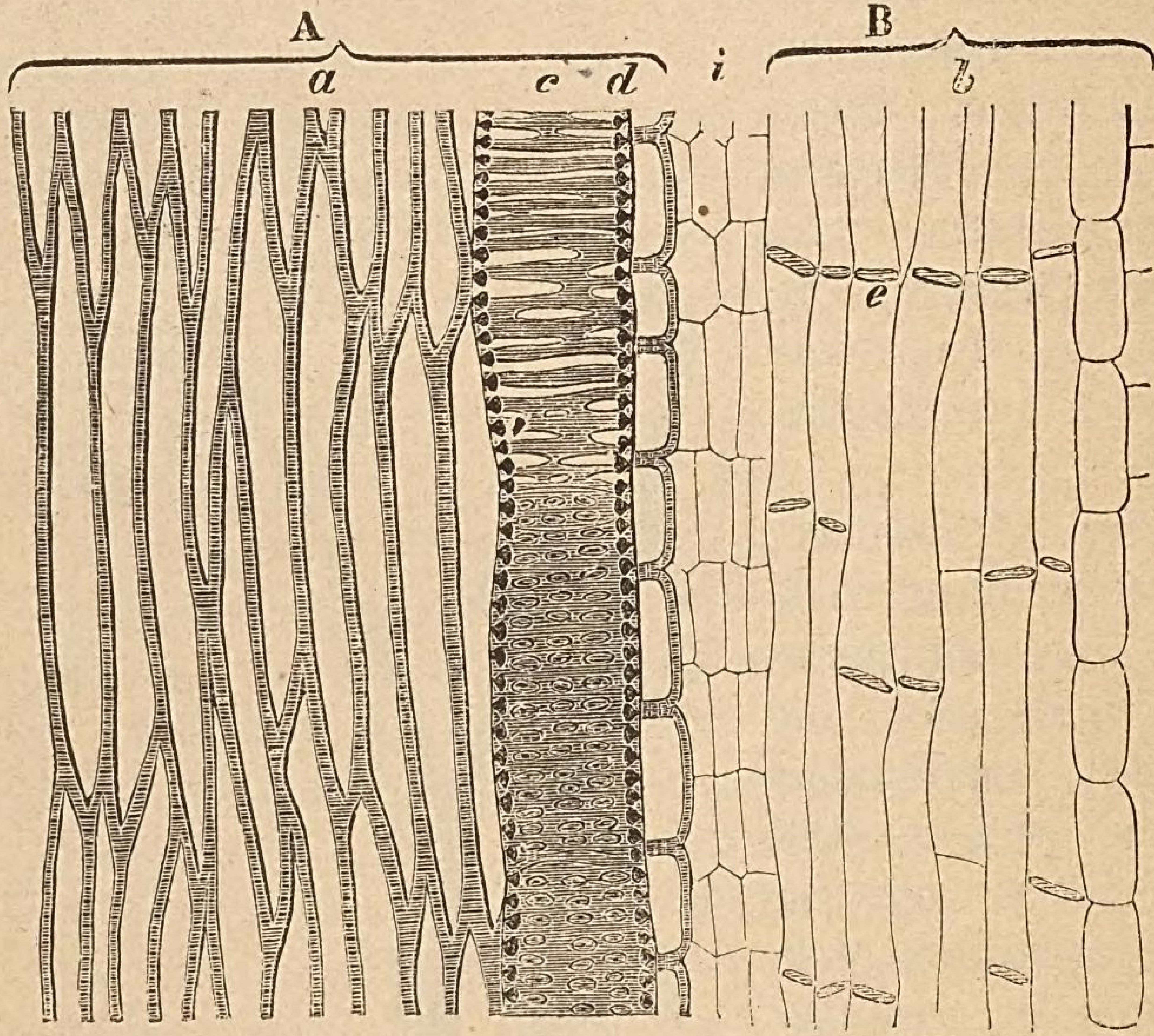


Übergang des Gefäßbündels aus dem Stengel in das Blatt und Verzweigung desselben als Blattnervatur.

Ein Gefäßbündel, welches bei der Betrachtung eines durchschnittenen Stengels als einfacher, fadenförmiger Strang erscheint, stellt sich nun aber als eine recht komplizierte Konstruktion dar, wenn wir es mikroskopisch untersuchen. Der mikroskopische Längsschnitt eines Gefäßbündels, der in Fig. 29 abgebildet ist, giebt darüber Auskunft, daß es besonders langgestreckte Zellformen sind, aus deren Zusammenordnung das Gefäßbündel resultiert. Wir haben es im wesentlichen mit faserähnlichen Bildungen zu thun. Man sieht aber gleich, daß ein solches

Gefäßbündel aus ganz verschieden geformten Fasern und Zellen zusammengesetzt ist. Der ganze eine Teil des Gefäßbündels (A) besteht aus dickwandigen Elementen, von denen ganz besonders die beiderseits zugespitzten, fest ineinandergreifenden Fasern (a) an Menge vorwiegen; neben diesen bemerkt man noch ein weites Rohr c, ein Gefäß, wie solche im Holze in mehr oder weniger

Fig 29.



Längsschnitt durch ein Gefäßbündel der Balsamine, Impatiens glandulifera (stark vergrößert). A) Holzteil. B) Siebteil. i) Cambium. a) Holzfasern. c) Gefäß. d) Holzparenchym. b) Siebröhren. e) deren Siebplatten.

großer Menge die Fasern begleiten und endlich kürzere Zellen d. Alle diese Elemente des Gefäßbündels sind dickwandig und hart, die Wände dieser Zellen, welche im Jugendzustande der Pflanze dünn waren, haben allmählich die Veränderungen erlitten, welche man als Verholzung bezeichnet. Zugleich haben die Fasern und Gefäße dabei ihren protoplasmatischen Inhalt verloren, sie be-

stehen also nur aus den dicken, harten Membranen und bilden so eine harte Zellmasse, welche in ihrer höchsten Ausbildung bei den Bäumen als Holz jedermann bekannt ist. Die Verholzung eines Teiles des Gefäßbündels ist nun keine zufällige Erscheinung, sondern durch diese Verholzung werden eben jene Zellen erst geschickt, das Wasser zu leiten, wie wir nachher sehen werden.

Da wir uns hier momentan nur um die wasserleitenden Zellen kümmern wollen, so könnten wir uns mit dieser Orientierung begnügen, allein es mögen, da es später doch notwendig werden würde, gleich auch noch die noch übrigen Teile des Gefäßbündels erläutert werden. Man unterscheidet noch einen zweiten Teil (B) an unserer Figur, dessen Elemente aber im Gegensatz zur anderen Hälfte sehr zart und dünnwandig sind.

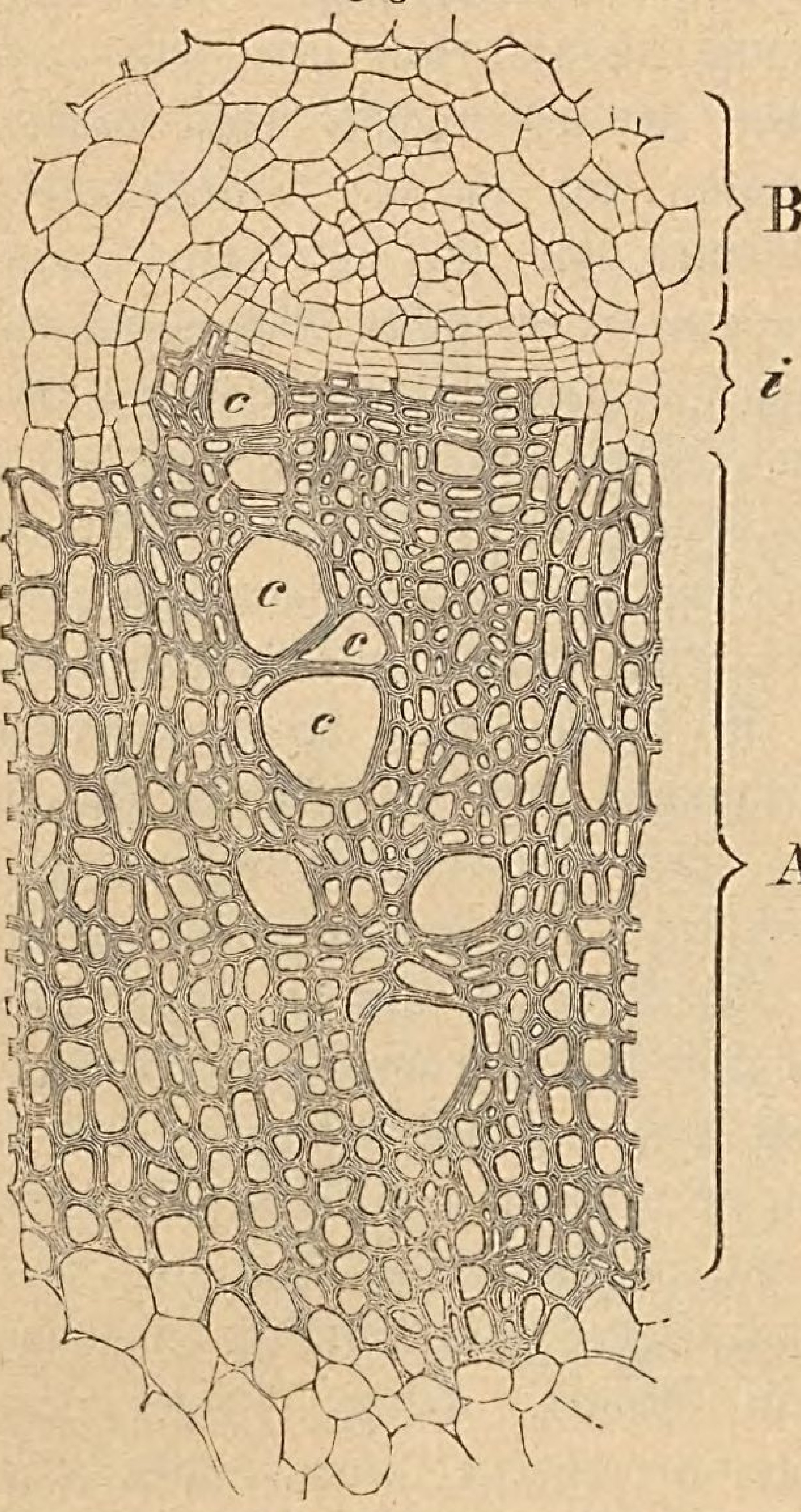
Die dünnwandigen Röhren nehmen immer nur einen kleineren Teil des Gefäßbündels ein, sie besitzen statt der Querwände Platten, welche siebartig durchlöchert und in größerer Anzahl über einander vorhanden sind. Dieser Einrichtung wegen haben sie den Namen Siebröhren erhalten. Ihr Inhalt ist ein eiweißartiger Schleim, welchen sie den Organen für die Ernährung zuführen. Wir werden später auf die Siebröhren zurückkommen.

Man bezeichnet diese beiden Teile des Gefäßbündels A und B nach ihren Hauptbestandteilen als Holzteil und Siebteil. A ist der Holzteil, B der Siebteil und zwischen beiden liegt nun noch eine schmale Schicht sehr dünnwandiger Zellen i, welche Cambium heißt. Dies Cambium ist ein Gewebe, welches immer neue Zellen bildet, die sich einerseits in verholzte Zellen, andererseits in Siebröhren umwandeln und auf diese Weise das Gefäßbündel vergrößern.

Das wären die wesentlichen Bemerkungen über die Formbestandteile eines Gefäßbündels. Die ganze Anordnung dieser Elemente und ihre Lage zu einander tritt viel klarer auf einem vollständigen Querschnitt des Gefäßbündels hervor, weshalb wir den Leser bitten, auch diesen zu betrachten. In dem Querdurchschnittsbilde Fig. 30 ist mit B wieder der Siebteil, mit A

der Holzteil bezeichnet, in welchem zwischen den Holzfasern die weiten Gefäße (c) eingestreut sind. Zwischen A und B bemerkt man das Cambium.

Fig. 30.



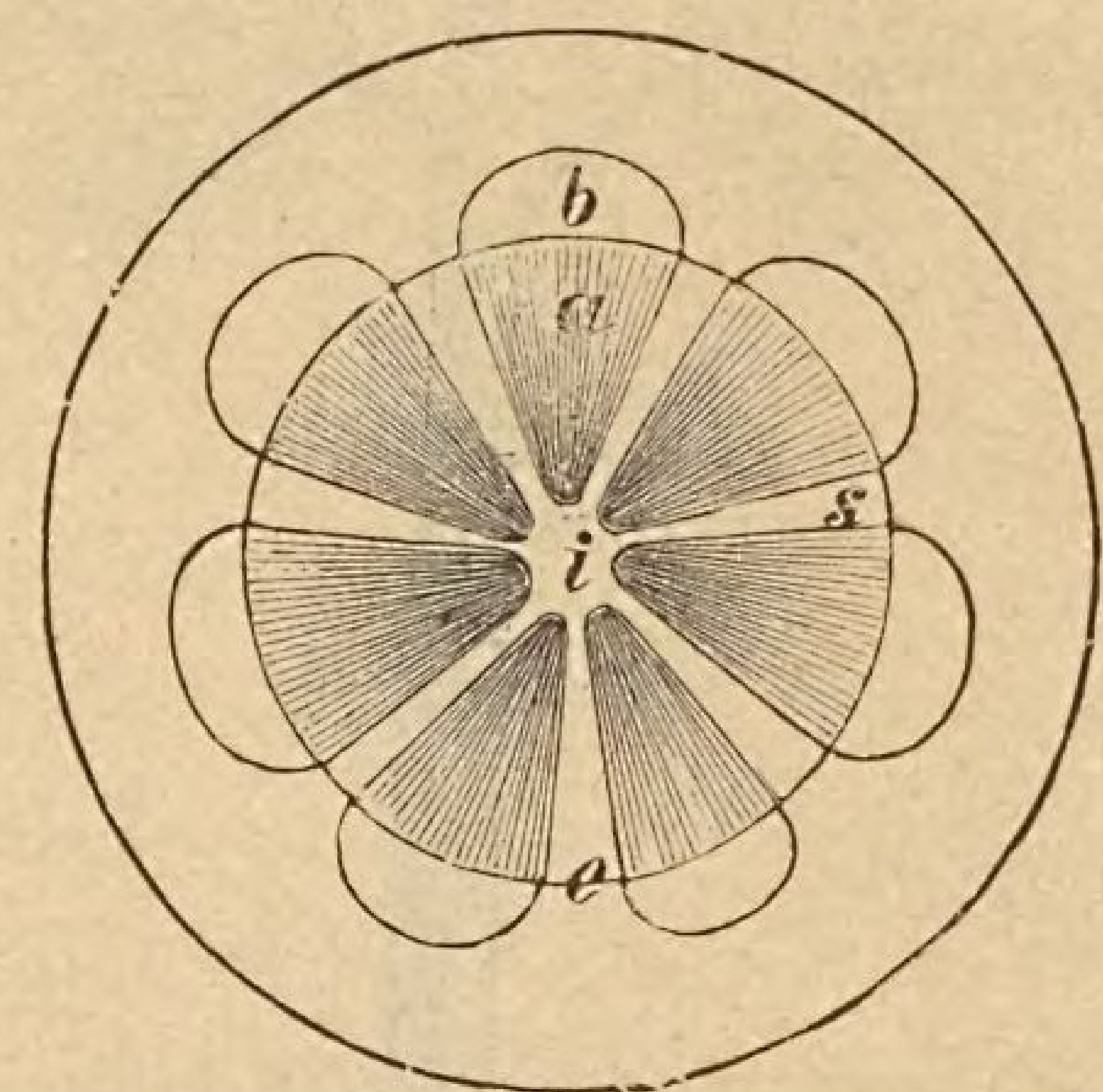
Querschnitt eines Gefäßbündels von Impatiens glandulifera. B) Siebteil. A) Holzteil. c) Gefäße, das übrige Holzfasern mit etwas Holzparenchym. i) Cambium.

Denken wir uns nun einen älteren Pflanzenstengel oder Holzstamm, so sind die Gefäßbündel so angeordnet, wie es der schematische Querschnitt Fig. 31 darstellt. Alle Holzteile sind dunkel schraffiert und mit a bezeichnet, alle Siebteile b sind weiß. Die Gefäßbündel grenzen nicht dicht aneinander, sondern sind durch Streifen des Grundgewebes (s) getrennt, welche vom Mark i in die Rinde verlaufen. Die Holzteile aller Gefäßbündel kehren sich nach dem Centrum des Stengels zu, während alle Siebteile nach außen gewendet sind. Das Cambium c bildet einen geschlossenen Ring, der alle Holzteile von allen Siebteilen scheidet. Es wird also durch das Cambium der Stengelquerschnitt in zwei konzentrische Zonen geteilt, von denen die äußere, welche die Siebteile mit umfaßt, Rinde, der innere, alle Holzteile enthaltende Kreis Holz genannt wird. Machen wir uns mit Hilfe des Schemas eine körperliche Vorstellung der Verhältnisse, so leuchtet es ein, daß in einem Baum ein zylindrischer Holzkörper von dem

Rindenmantel umgeben ist. Das, was wir bei einem Baum das Holz, den Holzkörper nennen, ist nichts anderes, als die Gesamtheit der Holzteile aller Gefäßbündel, welche durch den sekundären, vom Cambium bewirkten Zuwachs an Masse so bedeutend zugenommen haben und dauernd zunehmen.

Kehren wir nach dieser anatomischen Abschweifung, welche uns das Holz, diese Straße für den Wasserstrom in der Pflanze kennen lehren sollte, zur Wasserbewegung selbst zurück. Man kann durch einen sehr alten Versuch den Beweis führen, daß in der That nur das Holz allein den Wasserweg darstellt und nicht die Rinde. Macht man um den Stamm eines Baumes zwei Ringschnitte, welche die Rinde bis auf das Holz durchschneiden, so kann man einen Streifen Rinde ablösen. Der Zusammenhang der Rinde ist dadurch vollständig unterbrochen, wie Fig. 32 erläutert. Die Rinde des oberen Teiles des Baumes steht mit der unteren Hälfte in keinem Zusammenhang mehr. Würde das Wasser nur durch die Rinde transportiert, so könnte es nur bis A steigen. Der Krone des Baumes könnte kein Wasser zukommen und sie würde vertrocknen. Wenn man aber diesen Ringelungsversuch anstellt, wobei man die Wunde um das Austrocknen des Holzes zu verhindern, mit einem Streifen Stanniol umwickeln muß, so bleibt die Krone vollkommen frisch, der Baum gedeiht, wie wenn gar nichts geschehen wäre. Das beweist, daß alles Wasser nur durch das Holz aufwärts geht. Würde die Rinde auch nur teilnehmen an der Wasserleitung, so würde die Unterbrechung durch den Ringelschnitt ein Welken der Krone veranlassen.

Fig. 31.

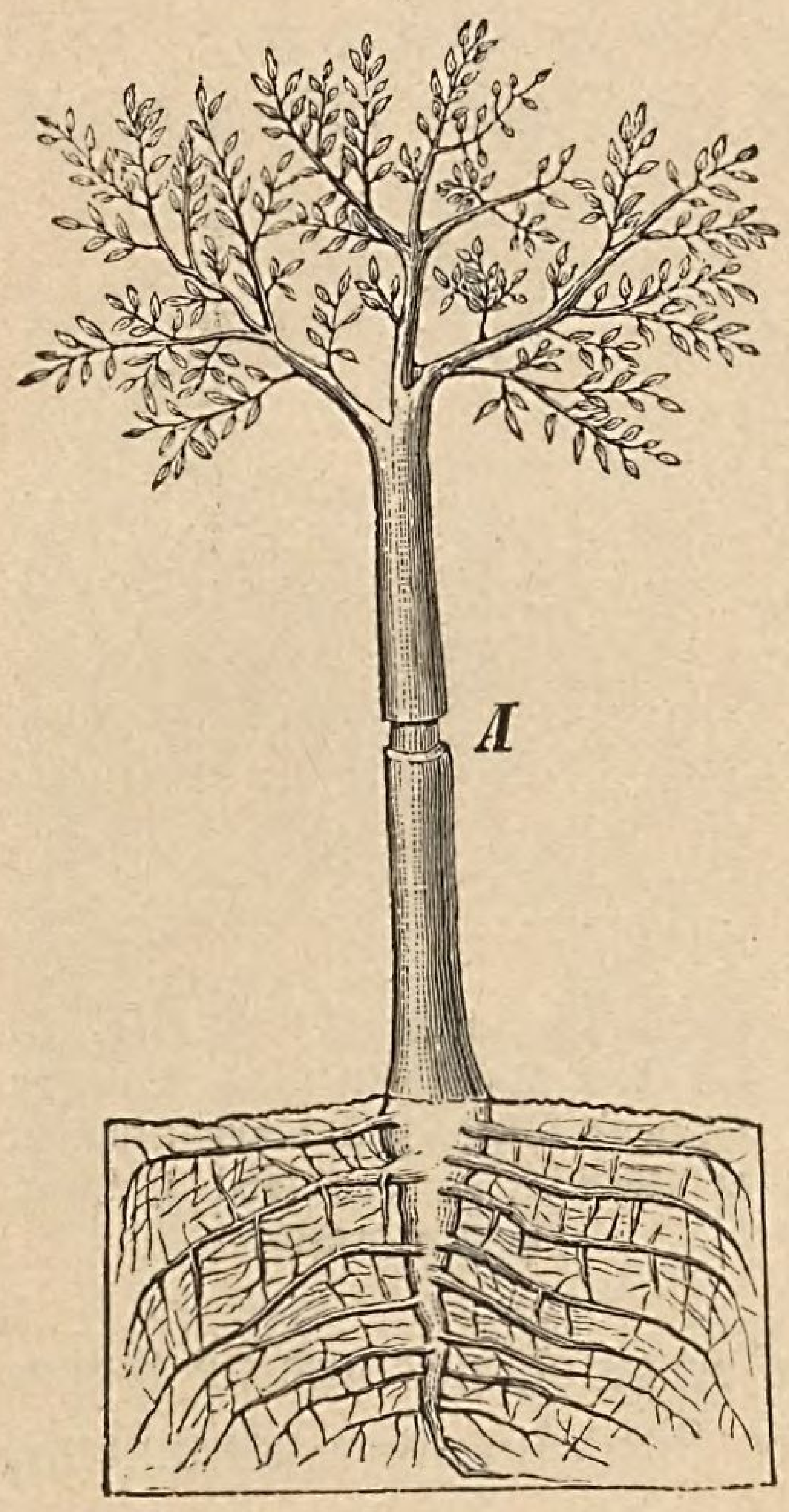


Schema der Anordnung der Gefäßbündel auf dem Querschnitt eines dicotylen Stengels. Die Holzteile a sind schraffiert. b) Siebteile. c) Cambium. i) Mark. s) Markstrahlen.

Unter normalen Verhältnissen bleiben selbst bei starker Ver-

dunstung auch die äußersten Blätter eines hohen Baumes frisch und turgescent, ein Beweis, daß der Wasserstrom mit ausreichender Geschwindigkeit durch das Holz aufwärts geht. Ein bestimmtes Maß dieser Geschwindigkeit zu gewinnen, darauf waren schon die Bemühungen eines hochbedeutenden Mannes gerichtet, der im Anfang des vorigen Jahrhunderts die Grundlage der wissenschaftlichen Erforschung der Wasserbewegung legte. Dies war Stephan Hales, im Jahre 1671 in der Grafschaft Kent geboren. Im Jahre 1727 publizierte er unter dem Titel „statical essays“ umfangreiche Versuchsreihen, welche die Erkenntnis der Ernährung der Pflanzen in neue Bahnen lenken sollte und in der That einen Inhalt bedeutender Gedanken und begründender Experimente brachte. Ganz besonders wurde die schwierige Frage der Saftbewegung in den Pflanzen mit echtem Forschertalent und wahrer wissenschaftlicher Methode auf das Eingehendste behandelt. Hales ist der erste experimentelle Pflanzenphysiolog, der sich nicht damit begnügte, durch Gedankenkombinationen hinter die Rätsel der Lebensvorgänge zu kommen, sondern mit Pflanzen selbst experimentierte, um bestimmte Antworten auf klar formulierte Fragen zu erhalten. Zählen, Wägen und Messen sind die Wege, auf denen die Naturgesetze erkannt werden, sagt Hales: „Man geht dadurch den sichersten und ver=

Fig. 32.



Ringelung eines Baumes zur Demonstration des Wassertransportes im Holz.

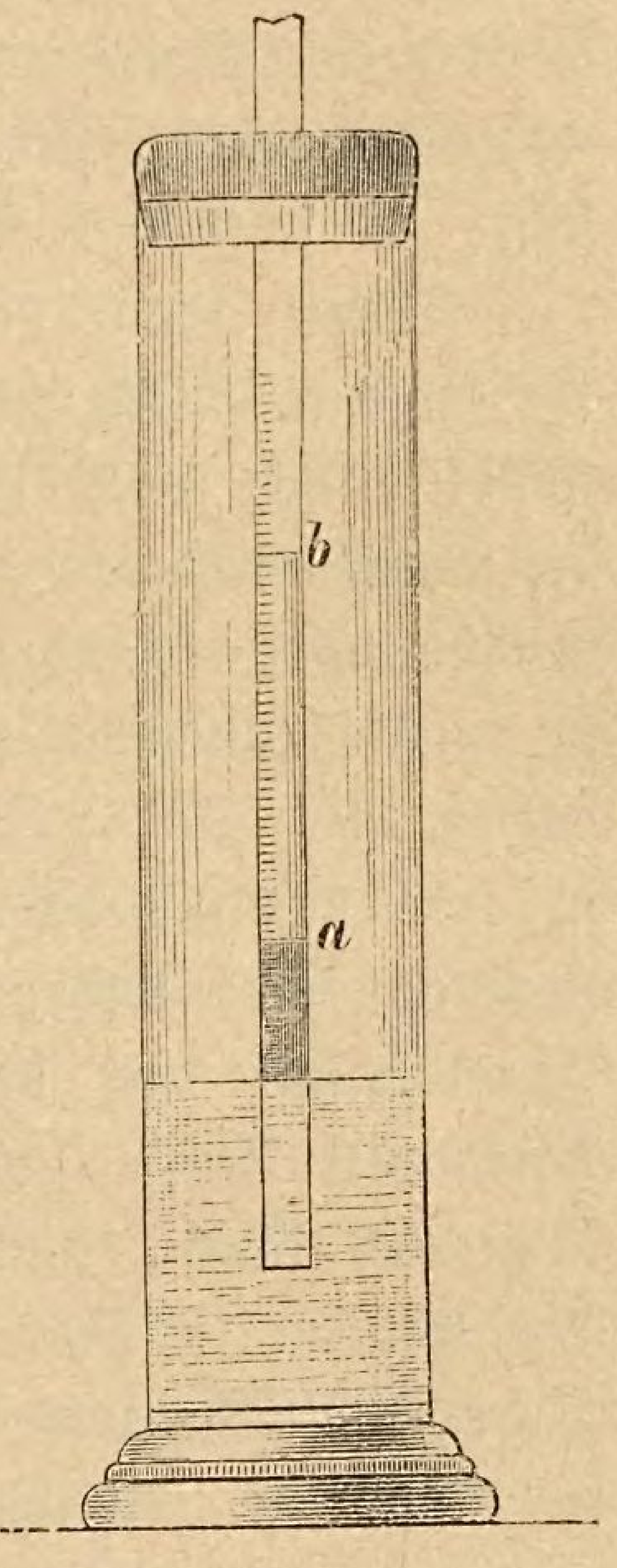
nünftigsten Weg". Mittelst dieses sichern Weges erforscht er die Erscheinungen der Transpiration. Er wiegt die Mengen des transpirierten Wassers, er berechnet die Geschwindigkeit des Wasserstromes aus dem Querschnittes des Stammes, der Zeit und der Wassermenge. Er forscht nach Methoden, die noch der moderne Naturforscher benutzt und hochhält, seiner Zeit weit vorauseilend, muß diese ihm langsam nachhinken und hat ihn heute nicht überholt. Unsere Zeit muß durch die größte Genauigkeit der Methoden, welche die fortschreitende Technik ermöglicht, den Gedankenfond, den die alten Naturforscher hinterließen, ausnützen und verwerten. Die Berechnungen von Hales ergaben natürlich nur ungefähre Werte und man versuchte später genauere zu erhalten und die älteren zu berichtigen. Ein Verfahren, welches man einschlug, um die Steighöhe des Wassers in der Pflanze in einer bestimmten Zeit zu erfahren, bestand darin, daß man statt Wasser farbige Lösungen von Pflanzen aufnehmen ließ. Das Holz hat die Fähigkeit aus farbigen Lösungen den Farbstoff aufzunehmen und wenn man in eine solche Flüssigkeit beblätterte Zweige stellt, so saugen dieselben die Farbstofflösung auf und man findet nach Verlauf einiger Stunden, wenn man die oberen Teile eines solchen Zweiges durchschneidet, daß das Holz jetzt gefärbt ist. Das beweist, daß der Farbstoff mit dem Wasser bis dahin gestiegen ist. Auf diese Versuche, die sich leicht anstellen lassen, legte man viel Gewicht, bis neuere kritischere Untersuchungen die Unbrauchbarkeit dieser Versuchsform darthaten. Zunächst nämlich sind solche Farbstoffe, welche man ihrer stark färbenden Eigenschaft wegen verwendet, z. B. die Anilinfarben Gifte für die Pflanzen und es greifen also allerlei unkontrollierbare pathologische Erscheinungen störend in das Experiment ein. Ferner lassen sich die geschilderten Versuche nur mit abgeschnittenen Zweigen machen und das ist ein Übelstand. Die in die Lösung eintauchenden Querschnitte der Zweige erleiden allmählich chemische Veränderungen, wodurch die Aufnahmefähigkeit für das Wasser gemindert wird. Stellt man aber

eine bewurzelte Pflanze in eine Farbstofflösung, so zeigt sich, daß der Versuch gar nicht geht. Gewöhnlich werden die Wurzeln, welche sehr empfindliche Organe sind, krank, aber wenn dies auch nicht geschieht, so nehmen die Wurzeln gar nichts von dem Farbstoff auf. Man kann eine Pflanze mit ihren Wurzeln in eine unschädliche Farbstofflösung setzen, sie wird daraus nur das Wasser aufsaugen, den Farbstoff aber nicht, so daß der ganze Versuch illusorisch ist.

Es ist aber noch eine ganz andere Thatsache, welche schon von vornherein, die Schlüsse über die Steighöhe des Wassers aus der Höhe der Holzfärbung als irrtümlich zurückweist. Es ist ja ganz natürlich, daß die Färbung des Holzes weiter nichts besagt, als daß die Holzzellen den Farbstoff festhalten. Indem das Holz sich färbt, entzieht es der wässerigen Lösung den Farbstoff und speichert ihn in seinen Zellwänden auf, während natürlich das Wasser weiter passiert. Der Farbstoff wird also von seinem Vehikel, dem Wasser getrennt und demnach sagt die in einer bestimmten Höhe gefundene Holzfärbung nichts darüber aus, ob das Wasser ebenfalls nur bis dahin gestiegen ist. Es erscheint vielmehr wahrscheinlicher, daß das Wasser dem Farbstoff vorausgeeilt ist. So ist es in der That und man kann sich durch einen ebenso einfachen als überzeugenden Versuch, das Verhalten einer färbenden Lösung, gegenüber dem sich färbenden Stoff veranschaulichen. Der Cylinder Fig. 6 enthält eine Farbstofflösung, z. B. Anilinblau oder Indigocarmin in Wasser gelöst. Ein Streifen Filtrierpapier, auf dem eine Skala, etwa von Centimetern aufgetragen, taucht in die Lösung. Durch die Kapillaritätswirkung des Löschpapiers, steigt die Farblösung in dem Streifen, welcher sich färbt. Aber dabei tritt nun die schon erwähnte Erscheinung ein. Das Wasser trennt sich vom Farbstoff und während dieser das Papier färbt, eilt das Wasser voran, so daß nach einiger Zeit der Farbstoff bei a angekommen ist, während das Wasser schon in der Höhe b steht, was sich an dem Durchsichtigwerden des feuchten Papiers erkennen läßt.

Die Färbung eines solchen Papierstreifens, ebenso wie die Färbung des Holzes eines abgeschnittenen Zweiges, kann also nur beweisen, daß das Wasser überhaupt steigt und daß ist ja durch das Frischbleiben einer Baumkrone aufs Vollkommenste und Allerbeste bewiesen. Dagegen zeigt unser Experiment, daß man zur Messung der Geschwindigkeit mit Farbstofflösungen niemals zum Ziel kommt.

Fig. 33.



Immerhin leuchtet es ein, daß man auf sehr bequeme Weise die Geschwindigkeit des Wasserstromes messen könnte, wenn es eine Substanz gäbe, die in gleicher Schnelle mit dem Wasser vorwärts wanderte, deren Anwesenheit man aber zugleich durch eine einfache Methode konstatieren könnte. Man könnte auf ein Salz verfallen und statt der Farbstofflösung eine Salzlösung verwenden. Bei derartigen Versuchen stellte sich heraus, daß eine ganze Anzahl von Salzen sich ganz wie Farbstoffe verhalten, ebenfalls beim Aufsteigen in einem Papierstreifen und im Holz hinter dem Wasser zurückbleiben. Es giebt aber auch Salze, deren Lösungen nicht zerlegt werden, dahin gehört z. B. der Kalisalpeter. Nun ist ein Kalisalz beim Experimentieren mit Pflanzen deshalb nicht zu verwenden, weil jeder Pflanzenteil schon Kali enthält. Glücklicherweise verhält sich aber das salpetersaure Lithium, welches nicht in den Pflanzen vorkommt, ebenso wie der Kalisalpeter und wie bekannt läßt sich das Lithium durch die Spektralanalyse in kleinster Menge nachweisen. Das Lithiumsalz wird in wässeriger Lösung leicht von den Wurzeln aufgenommen und man ist also imstande, Experimente mit nor=

malen bewurzelten Pflanzen anzustellen. Begießt man eine Topfpflanze, z. B. eine Sonnenrose oder Akazie reichlich mit einer verdünnten Lithiumlösung und setzt sie in die Sonne, damit die Transpiration kräftig einsetze, so kann man schon nach 1—2 Stunden das Lithium spektroskopisch in den Blättern nachweisen. Da das Lithium aber mit dem Wasser vereinigt bleibt, so ist die Geschwindigkeit des Wasserstromes bestimmt; genau bis zur selben Höhe, in der sich das Lithium durch das Spektroskop nachweisen läßt, ist auch das Wasser in der verflossenen Zeit gestiegen.*)

Wenn man von der Geschwindigkeit des Wasserstromes spricht und durch das Experiment ein bestimmtes Maß festzustellen sucht, so ist dies natürlich nicht so zu verstehen, als ob die Geschwindigkeit des Wassers in der Pflanze eine konstante Größe wäre. Findet man durch den Versuch, daß das Wasser in einer Stunde ein paar Meter gestiegen ist, so heißt das nicht, daß es zu allen Zeiten diese Geschwindigkeit habe. Es bedarf ja nur eines geringen Maßes von Überlegung, um das Irrtümliche einer solchen Meinung einzusehen. Der Transpirationsstrom hängt von der Intensität der Transpiration selbst ab. Wird viel Wasser von den Blättern verdunstet, so muß und kann viel Wasser nachströmen und umgekehrt. Die Verdunstung der Blätter ist aber niemals eine gleichbleibende und kann es nicht sein. Ebensowenig wie eine Wasserpflanze verdunsten kann, so lange sie untergetaucht im Wasser schwimmt, ebensowenig wird eine Landpflanze transpirieren, wenn sie sich in einen mit Wasserdampf gesättigten Raum befindet. Die Transpiration wird auch im Freien unterdrückt, wenn die Luft viel Feuchtigkeit enthält und muß bei trockener Luft zunehmen. Ebenso wird die Verdunstung durch höhere Temperatur gefördert, durch kühlere Luft verzögert. Und noch eine dritte äußere Bedingung ist vorhanden, von der die Transpiration abhängt: die Beleuchtung. Bei starker Beleuchtung vermehrt sich die Transpiration und

*) Sachs, Ein Beitrag zur Kenntnis des aufsteigenden Saftstromes in transpirierenden Pflanzen. Bd. II der Arbeiten des bot. Instituts Würzburg.

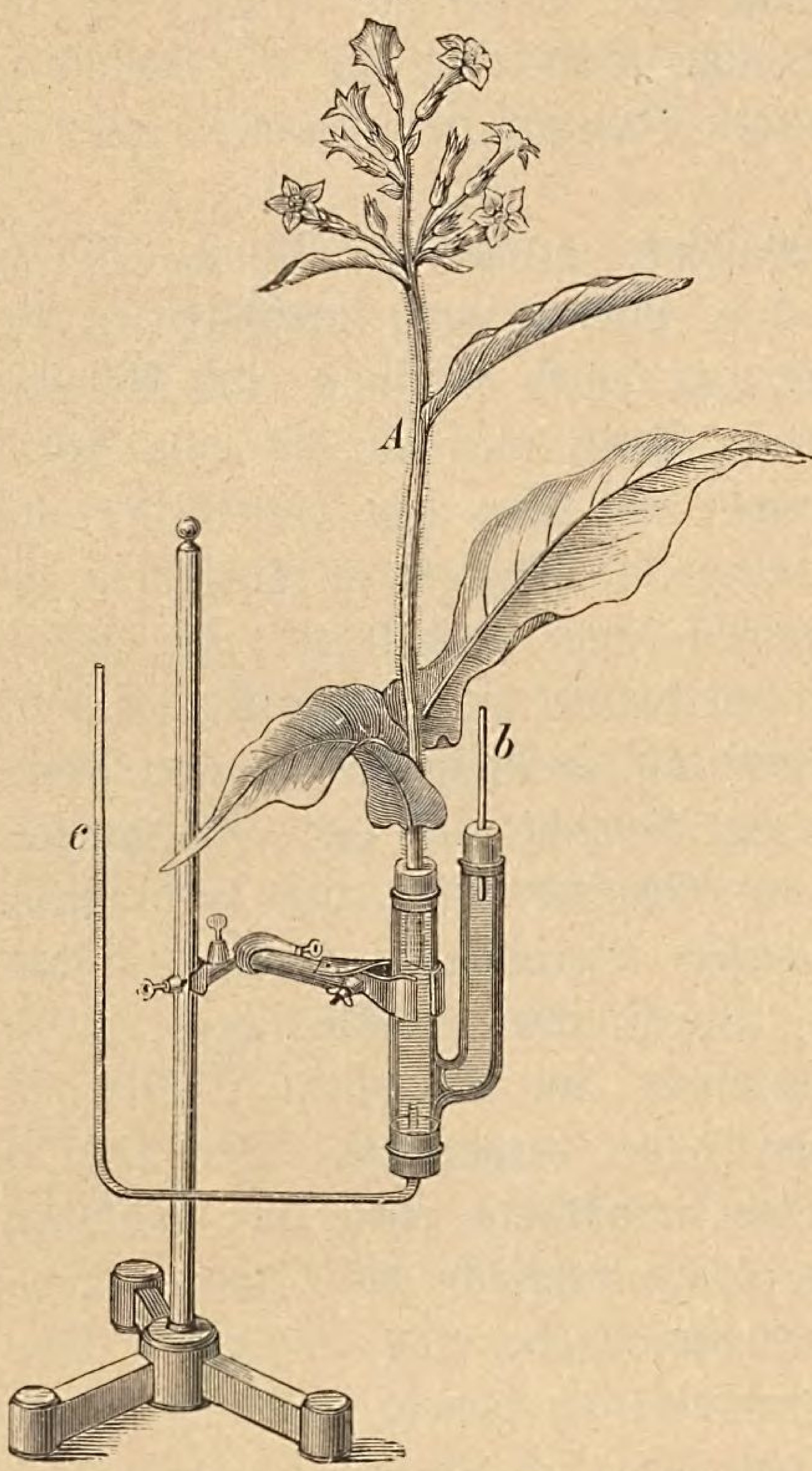
von der Sonne beschienene Pflanzen verdunsten nicht nur mehr Wasser, weil sie stärker erwärmt werden, sondern auch, weil die Beleuchtung intensiver ist. Es läßt sich mit Leichtigkeit der richtige Schluß aus diesen Angaben ziehen, daß die Pflanzen des Nachts weniger Wasser verdunsten, da Temperatur und Beleuchtung abgenommen und man braucht nur daran zu denken, daß die Pflanzen des Nachts auch nicht assimilieren, um das Nachlassen des die Assimilation fördernden Transpirationsstromes begreiflich und zweckmäßig zu finden.

Die Quantität des Wassers, welches die Pflanze infolge ihrer Transpiration aus dem Boden unter verschiedenen Bedingungen aufnimmt, kann man durch Messung oder Wägung auf einfache Weise ermitteln. Stellt man auf die eine Schale einer Wage einen Blumentopf mit einer gut entwickelten und beblätterten Pflanze und bringt die Wage durch Tarierung ins Gleichgewicht, so wird dasselbe schon nach kurzer Zeit gestört werden. In jedem Moment verdunstet die Pflanze Wasser, wird leichter und infolge dessen hebt sich die Wagschale mit dem Topfe. Legt man auf diese Seite nun Gewichte bis zum Gleichgewicht, so erfährt man dadurch die Gewichtsmenge des verdunsteten Wassers. Man hat bei diesem Versuch ein paar Vorsichtsmaßregeln zu beobachten. Durch einen gewöhnlichen porösen Blumentopf würde die Erde direkt eine Quantität Wasser verdunsten, was natürlich einen Fehler verursachte. Der Topf ist daher mit einer nicht porösen Umhüllung, etwa von Zinkblech, zu umgeben und ebenso die obere Erdfläche des Topfes zu bedecken, damit eine direkte Wasserabgabe nicht stattfinden kann. Zur Demonstration der Transpiration sowohl, als auch zu vergleichenden Beobachtungen kann man sich des Fig. 34 abgebildeten Apparates bedienen. Die Pflanze A entnimmt aus dem mit Wasser gefüllten Glasapparat ihren Wasserbedarf. Sobald sie verdunstet, sinkt in dem Rohr c das Wasserniveau. Da das Rohr eng ist, so zeigt sich schon in jeder Minute die Transpirationsstärke an. b ist ein Thermometer, welches zugleich

dazu dient, indem es in das Wasserrohr hineingeschoben wird, das veränderte Niveau im Rohr c beliebig wieder herzustellen.

Die Aufgabe der modernen Naturforschung ist es, nicht nur die Erscheinungen zu beobachten und mitzuteilen, sondern die Ursachen der Vorgänge zu ermitteln. Erst wenn dem kausalen Bedürfnis genügt ist, das dem menschlichen Geiste so tief innewohnt, das sich schon in dem „Warum" des Kindes ausprägt, kann man von dem Verstehen eines Naturereignisses reden. Indem wir uns in dem Vorstehenden mit der Bewegung des Wassers beschäftigten, haben wir dem Leser nur eine Reihe von Beobachtungen mitgeteilt, ohne danach zu fragen, was denn eigentlich die Ursache der Wasserbewegung in der Pflanze sei. Es liegt ja auf der Hand, daß in der Transpiration nicht die Ursache des Wasserstromes zu erblicken ist. Die Verdunstung des Wassers aus den Blättern ist nur eine Ausgabe, durch welche wieder Platz gemacht wird für nachkommendes Wasser, sie ist aber keine Kraft, welche das Wasser heben kann. Ebensowenig wie das bloße Ausgeben des

Fig. 34.



Apparat zur Demonstration der Verdunstung.

Geldes Ursache neuer Einnahmen ist, ebensowenig ist die Verdunstung Ursache des Wasserstromes.

Es gab eine Zeit, wo sich die Wissenschaft besonders lebhaft mit der Diffusion der Flüssigkeiten durch Membranen beschäftigte, und da in den Zellen der Pflanzen ohne Zweifel solche Diffusionsvorgänge stattfinden, glaubte man die ganze Wasserbewegung in der Pflanze beruhe nur auf Diffusion. Jetzt ist es längst erwiesen, daß die Diffusion bei der raschen Bewegung des Transpirationsstromes gar nicht in Frage kommen kann. Man dachte nicht daran, um welches Problem es sich eigentlich bei der Wasserbewegung in der Pflanze handelt, ebensowenig, wie dies heute im allgemeinen klar überlegt wird. Im gewöhnlichen Leben hört man oft den Ausspruch, das Wasser steige in den Bäumen auf, besonders im Frühling ist es beliebt vom Steigen des Saftes zu reden. So pflegt die Unterhaltung, wie gemeiniglich auch in diesem Falle mit einer Phrase über ein Problem hinwegzugehen, an dessen Lösung die Forschung anderthalb Jahrhunderte arbeitet.

Behalten wir das populäre Wort einen Augenblick bei, so muß das Wasser in Bäumen, welche man gewöhnlich angepflanzt findet, 8, 10, 15 Meter hoch steigen um den Gipfel zu erreichen, es giebt aber Bäume von 50 bis 100 Meter Höhe, ja die sogenannten Mammutbäume Kaliforniens (Wellingtonia gigantea) sind bis 150 Meter hoch. Dennoch muß das Wasser in das äußerste Blättchen eines solchen Riesen gelangen und thut dies in der That, denn das oberste Blatt ist eben so frisch wie das unterste.

Der Volksmund sagt, das Wasser läuft nicht den Berg hinauf und drückt in diesem naiven Satze ein Naturgesetz aus. In den Bäumen soll aber gleichsam das Wasser den Berg hinauflaufen, d. h. es soll der Schwere entgegen senkrecht in die Höhe gehoben werden. Wenn wir einen Eimer Wasser 50 Meter senkrecht in die Höhe heben wollen, so bedürfen wir dazu der Kraft eines Menschen, der etwa an einem über eine Rolle laufenden Seil das Gefäß in die Höhe zieht. Nur vermöge der Kraft seiner Arme, vermöge der Kontraktion seiner Muskeln leistet der Mann die

Arbeit und er veratmet dabei Körpersubstanz. Wir sehen bei dieser Arbeitsleistung unmittelbar die Ursachen der Bewegung und können uns eine Vorstellung machen von der Umsetzung der Muskelarbeit in die Bewegung des Wasserbehälters. Bei der Wasserbewegung im Baume bemerken wir keine treibende Kraft und dennoch ist der Effekt eine ebenso bedeutende Arbeitsleistung, wie die geschilderte.

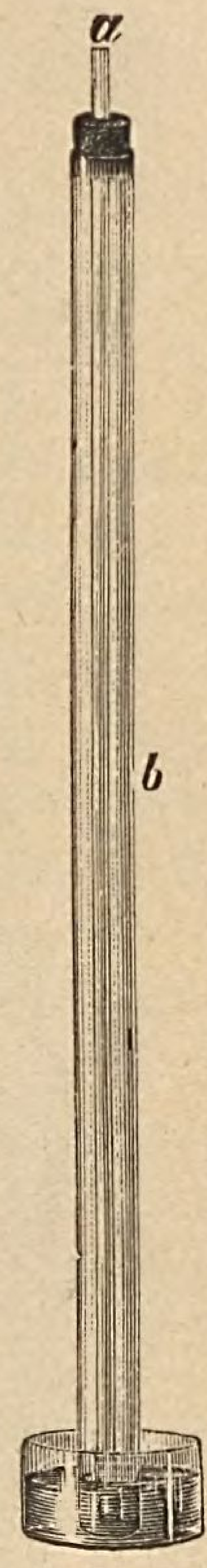
Mit dem Bemerken, daß jede Holzzelle eine sehr dünne Röhre darstellt,*) verknüpfte man bald die Vorstellung, daß das gesamte Holzsystem einer verzweigten Röhrenleitung zu vergleichen sei, etwa ähnlich einer Wasserleitung. Die Bewegung des flüssigen Wassers in diesem Röhrensystem schrieb man der bekannten Kapillarkraft zu und glaubte damit die Wasserbewegung in der Pflanze erklären zu können. Eine derartige Ansicht findet sich, obgleich längst schlagend widerlegt, auch heute noch in vielen physikalischen Lehrbüchern vorgetragen, aus der sie füglich endlich verschwinden könnte. Selbst wenn die Holzzellen ein System von Kapillaren wären, so würde die Kapillarität doch nicht im entferntesten ausreichen, das Wasser in eine Baumkrone zu heben. Man braucht nur die feinsten Glaskapillaren in Wasser zu tauchen, um sich zu überzeugen, daß das Wasser durch diese Attraktion nur vielleicht 20 cm hoch gehoben wird. Besonders instruktiv zum Beweise für die unzureichende Leistung der Kapillarität ist der folgende Versuch: Man befestigt in einem 5 Fuß langen 3 cm weiten Glasrohr, Fig. 35, mittels eines dem oberen Ende aufgesetzten Korkes einen Streifen Filtrierpapier von der Länge des Rohres und taucht das ganze in eine Schale mit Wasser. Das letztere beginnt in dem Papierstreifen kapillar zu steigen. Allein die Schnelligkeit nimmt immer mehr ab und endlich rückt das Wasser tagelang kaum merklich vorwärts und scheint ganz still zu stehen. An kapillare Kräfte bei der Wasserbewegung im Baume zu denken, ist also schon nach diesem allen unmöglich.

Vor allem ging aber diese Annahme von einem falschen

*) Vgl. Fig. 29 bis a.

Grundsatze, nämlich von der Voraussetzung aus, daß das Holz ein System kommunizierender Röhren sei. Die Wände der Holzzellen zeigen sich unter dem Mikroskop mit helleren, punkt- oder kreisförmigen Stellen in einer bestimmten Anordnung besetzt, welche man Tüpfel nennt. Auf diese nicht ganz einfachen anatomischen Verhältnisse einzugehen, ist hier nicht am Platz, genug, man glaubte, daß diese Tüpfel Löcher seien, durch welche die Holzzellen miteinander verbunden wären.

Fig. 35.

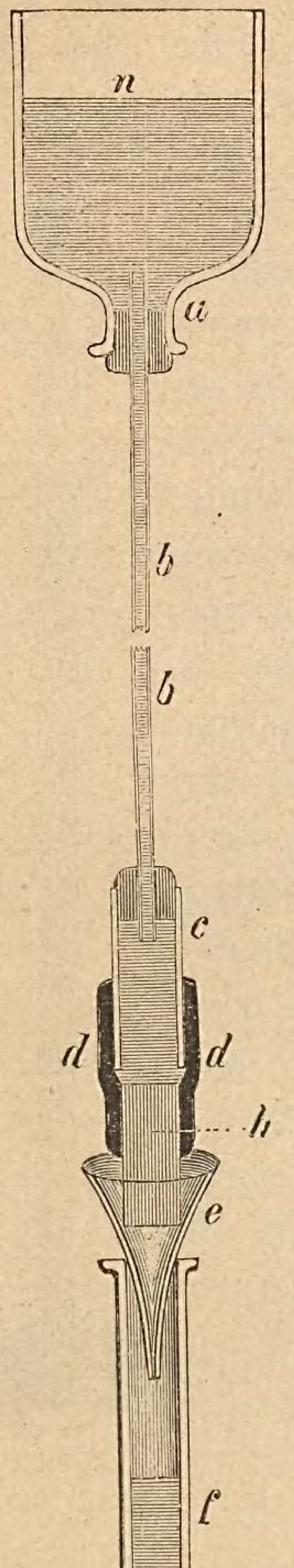


a ein Streifen Filtrierpapier, das umgeben von Glasrohr b aus der Schale Wasser aufsaugt.

Eine solche Verbindung findet aber nicht statt, wie neuerlich durch einen von Sachs*) in besserer Form wiederholten älteren Versuch Th. Hartigs endgültig am Koniferenholz bestätigt wurde. Fig. 36 erläutert das Experiment. „Ein mehrere Centimeter langes, etwa 2—3 Centimeter dickes, noch mit der Rinde versehenes Stück von einem Tannen- oder sonstigen Koniferenstamm wird an beiden Schnittflächen glatt geschnitten, das eine Ende mittels eines Kautschukschlauches an ein langes Glasrohr, welches oben mit einem weiten Gefäß verbunden ist, befestigt; das Rohr und Gefäß werden nunmehr mit einer Emulsion von Zinnober angefüllt, welche vorher durch mehrere Lagen Filtrierpapier hindurchgegangen ist und daher nur Zinnoberteilchen von der äußersten Kleinheit, die selbst bei stärkster Vergrößerung noch punktförmig erscheinen und sogenannte Brownsche Bewegung zeigen, enthält. Durch den hydrostatischen Druck im abgebildeten Apparate filtriert die Flüssigkeit durch den Holzkörper hindurch: das unten ablaufende Wasser erscheint vollkommen klar, frei von Zinnober, der letztere bleibt in dem obersten Teil des Holzes, ohne tiefer einzudringen, als etwa 1,5—2

*) Sachs, Über die Porosität des Holzes. Arbeiten des bot. Instituts zu Würzburg. Bd. II.

Fig. 36.



Millimeter." Die mikroskopische Untersuchung des Holzstückes nach einer Filtration von einigen Tagen ergiebt nämlich, daß nur in die oberen Holzzellen, welche durch den Querschnitt geöffnet waren, der feine Zinnober eingedrungen ist, so zwar, daß diese Zellen wie mit Blei ausgegossen, voll von den Zinnoberkörnchen stecken.

In keine der tiefer gelegenen Holzzellen ist aber ein Körnchen gelangt, was ja hätte geschehen müssen, wenn die Holzzellen durch offene Löcher miteinander kommunizierten. Der Zinnober ist sämtlich in den obersten offenen Zellen zurückgeblieben, während das Wasser die Membranen passierend durch den ganzen Holzkörper filtrierte. Die Holzzellen sind also geschlossen und für die Kapillarität könnten im Holz nur die Gefäße (Fig. 29c) in Betracht kommen, welches in der That die einzigen offenen Röhren im Holze sind. Die Gefäße können aber schon deshalb keine wasserleitenden Organe sein, weil sie bei einer ganzen großen Pflanzenabteilung, den Koniferen, unter denen sich überdies die höchsten Bäume befinden, die es giebt, ganz und gar fehlen. Bei den Laubbäumen findet man aber nur ausnahmsweise Wasser in den Gefäßen, gewöhnlich führen diese Luft und zwar sehr verdünnte Luft, wofür sich der Nachweis bringen läßt, indem man einen Zweig unter Quecksilber biegt und abschneidet.

Apparat zur Filtration von Wasser durch Tannenholz (n. Sachs). Das frische Holzstück h ist mittelst des Kautschuckschlauches d an das weite Glasrohr c befestigt; c) ist mittelst eines Korkes mit dem ca. 60 cm langen engen Glasrohr b verbunden, welches oben an dem Gefäß a befestigt ist; dieses enthält bis n Zinnoberemulsion. Das durch das Holz filtrierte Wasser wird durch den Trichter a in dem Maßgefäß f gesammelt.

Das Quecksilber schießt, durch den äußeren Luftdruck getrieben in die Gefäße des Stengels hinein und läßt sich auf Längsschnitten bis zu einer gewissen Höhe verfolgen. Alle diese Beobachtungen zwingen zum Verlassen der Kapillarität bei einer Theorie der Wasserbewegung in der Pflanze.

Es stellt sich überhaupt heraus, daß alle Theorieen, welche eine Fortbewegung des Wassers in den Hohlräumen der Holzzellen zu Grunde legen, auf Widersprüche stoßen. So auch ein Erklärungsversuch, welcher schon früher einmal verlassen, in neuester Zeit wieder aufgegriffen wurde. Das Aufwärtssteigen des Wassers in den Pflanzen sollte danach eine Wirkung des äußeren Luftdruckes sein. Wie in einer Pumpe sollte das Wasser in den Baum durch Überdruck hinaufgepreßt werden. Freilich ist in den Bäumen kein Pumpwerk vorhanden und so weit hat man sich auch nicht verstiegen, ein solches anzunehmen, allein das Prinzip der Pumpenwirkung wurde auf die Holzzellen übertragen. In den Hohlräumen der Holzzellen befindet sich zu Zeiten flüssiges Wasser und neben diesem Luftblasen. Durch Änderung der Tension dieser Luft soll das Wasser in der Holzzelle bewegt werden, durch Zusammenwirken der Billionen mikroskopischer Pumpwerke, welche im Holz eines Baumes vereinigt sind, die Wasserbewegung zustande kommen. Es wird wohl schwerlich gelingen, eine klare Vorstellung mit diesen theoretischen Ansichten verbinden zu können. Natürlich hängt die Wirkung der einzelnen Holzzelle von Luftdrucksdifferenzen ab und die Gesamtwirkung muß also endlich auf den äußeren Atmosphärendruck bezogen werden. Schon eine Thatsache macht aber eine derartige Annahme völlig hinfällig. Der Luftdruck kann bekanntlich das Wasser nicht höher treiben als 10 Meter und da es Bäume giebt, welche höher als 10 Meter sind, so kann der Atmosphärendruck nicht die Ursache der Wasserbewegung sein.

Die Mitteilung der vergeblichen Versuche, die Wasserbewegung zu erklären, ist von Interesse, da darin die Schwierigkeit be-

sonders hervortritt, mit der man es bei der Erforschung pflanzenphysiologischer Vorgänge zu thun hat.

Die eine Thatsache steht nun allerdings vollkommen fest und auf sie ist immer wieder zurückzugehen, nämlich daß das Wasser nur im Holz der Pflanzen bewegt wird.

Die Mißerfolge, diese Bewegung aus dem anatomischen Bau des Holzes zu verstehen, veranlaßten Sachs*) eine Theorie aufzustellen, welche in den Eigenschaften des Holzes ihre Basis besitzt. Diese Theorie ist die Imbibitionstheorie. Das wesentlich Unterscheidende dieser Theorie ist die Überzeugung, daß das Wasser sich nicht in den Hohlräumen der Holzzellen, sondern in deren verdickten Wänden bewegt. Sie faßt also das Holz von einem ganz anderen Gesichtspunkt auf: nicht als eine Vereinigung von Billionen kleiner Röhren, sondern als ein Gerüst von Zellstofflamellen, welchem die Fähigkeit zukommt, das Wasser zu leiten. Die wesentliche Eigenschaft des Holzes, welche es für diese Aufgabe geschickt macht, ist seine Imbibitionsfähigkeit für Wasser. Ganz allgemein sind organische Körper, Zellhäute, Protoplasma, Stärkekörner imstande, Wasser zu imbibieren oder wie man sagt zu quellen. Bei diesem Vorgang nimmt die Substanz Wasser auf und vergrößert das Volumen des Körpers. Man verwechsele das Eindringen von Wasser in einen quellenden Körper nicht mit dem Eintritt des Wassers in einen porösen Gegenstand, z. B. einen Gipsblock oder einen porösen Stein. Das letztere ist eine Kapillarwirkung, mit welcher die Imbibition nichts zu thun hat. Die Imbibition ist keine Kapillaritätserscheinung, denn bei der Quellung tritt das Wasser nicht in präformierte Hohlräume, sondern es drängt erst, um den Raum einzunehmen, die Körpermoleküle auseinander. Der Beweis dafür, daß es sich bei der Imbibition um ganz andere Erscheinungen als kapillare handelt, findet sich unter anderem darin, daß quellungs-

*) Sachs hat die Imbibitionstheorie an verschiedenen Orten mitgeteilt, man vergleiche die Litteraturzusammenstellung im Heft 1 des III. Bd. der citen des bot. J. z. Würzbg.

fähige Körper durch Alkohol, Äther u. s. w. nicht quellen, sondern nur in Wasser. Wäre die Imbibition auf Kapillarität zurückzuführen, so müßten auch andere Flüssigkeiten in die quellungsfähigen Substanzen eindringen können.

Die bezeichnete Eigenschaft der Imbibition besitzt auch das Holz, es kann zwischen die Moleküle seiner Substanz Wasser aufnehmen. Aber das Holz unterscheidet sich in einem wesentlichen Punkte von anderen quellungsfähigen Körpern. Während diese nämlich das Wasser, welches sie durch Imbibition aufgenommen haben sehr energisch festhalten, besitzt das Imbibitionswasser im Holz eine leichte Beweglichkeit und Verschiebbarkeit. Das Imbibitionswasser des Holzes ist imstande fortzurücken und darauf beruht erst die Möglichkeit der Leitung des Wassers durch das Holz. Man hat sich die Wasserbewegung in einem Baume also so vorzustellen, daß die verdunstenden Blätter ihren neuen Bedarf an Wasser den Holzzellwänden entziehen. Die erzeugte Störung des Gleichgewichtes pflanzt sich nun bis zu den Wurzeln fort, indem die Holzzellen, denen ihr Imbibitionswasser durch die Transpirationsorgane entzogen wurde, anderen tiefer und tiefer gelegenen Holzzellen Wasser entreißen, bis endlich der letzte Bedarf von den Wurzeln geliefert wird. Auf diese Weise wird durch die Anziehungskräfte der Zellwände das Wasser in die Höhe geschafft und diesen Molekularkräften gegenüber verschwindet die Wirkung der Schwere, so daß die Thatsache der Hebung auf Höhen von 100 Metern und mehr nichts Widersprechendes besitzt.

Mit der Annahme der Wasserbewegung in den Wänden der Holzzellen, einer Möglichkeit die nach Prüfung aller anderen allein übrig bleibt, stimmt eine Anzahl von Beobachtungen überein. Zu der Zeit, wo die Transpiration am ausgiebigsten ist, im heißen Sommer, finden sich die Hohlräume der Holzzellen und Gefäße gar nicht mit Wasser angefüllt. Sie enthalten zum großen Teil Luft, was schon daraus hervorgeht, daß ein im Sommer aus einem transpirierenden Baum geschnittenes Holzstück auf dem Wasser schwimmt. Die Substanz der Holzzellwände

ist spezifisch schwerer als Wasser und wenn die Hohlräume mit Wasser angefüllt wären, so müßte das Holz natürlich untersinken.

Sachs*) hat eine Methode angegeben, das Verhältnis des Zellwand-, Luft- und Wasservolumens im Holz zu berechnen, ausgehend vom spezifischen Gewicht des Holzes. Das spezifische Gewicht der Holzsubstanz ist 1,56. Daraus berechnet man das Volumen der Holzmasse, Wasser und Lufträume mit Zuhilfenahme des Trocken- und Frischgewichts auf folgende Weise.

Das Volumen eines Stückes Tannenholz betrage 90 kcm.

Gewicht des frischen Holzes	87,60 gr
Gewicht des trockenen Holzes	34,83 gr
Ergiebt an Wasser im frischen Holz	52,77 gr

Aus dem Gewicht des trockenen Holzes berechnet man dessen Volumen durch Division mit dem spezifischen Gewicht der Holzzellwand 1,56

$$\frac{34,83}{1,56} = 22,33 \text{ kcm.}$$

Die Holzzellwände unseres Stückes Tannenholz nehmen den Raum von 22,33 Kubikzentimetern ein. Der Raum, den das Wasser einnimmt, ergiebt sich unmittelbar aus dessen Gewicht, ist also = 52,77 kcm.

22.33 + 52,77 kcm von dem Volumen des frischen Holzes (90 kcm) subtrahiert, ergiebt das Luftvolumen im Holz = 14,89 kcm.

Auf 100 berechnet ergiebt sich

24,81 kcm	Wandmasse (trocken gedacht)
58,63 kcm	Wasser (in den Hohlräumen der Zellen und imbibiert)
16,56 kcm	Lufträume
100,00	

Die Zellwände imbibieren nur ca. ihr halbes Volumen, sie enthalten also 12,4 kcm Wasser, alles übrige Wasser (46,23 kcm) war bei dem betreffenden bei diesen Untersuchungen benutzten Holzstück in den Zellhöhlungen enthalten. Durch Addition dieses Wasservolumens und des Luftvolumens erhält man den Raum der Zellhöhlungen.

*) Sachs, Über die Porosität d. Holzes. Arbeit. d. bot. Inst. z. Würzb. Bd. II.

16,56 kcm Luftraum
46,23 kcm Wasser
62,79 kcm Hohlräume im Holz.

Das Holz enthält 63,79 kcm Hohlräume, dagegen beträgt die imbibierte Zellenwandmasse 37,21 kcm nach folgender Addition

24,81 kcm trockene Wandmasse
12,40 kcm Imbibitionswasser
37,21 kcm imbibierte Holzwände.

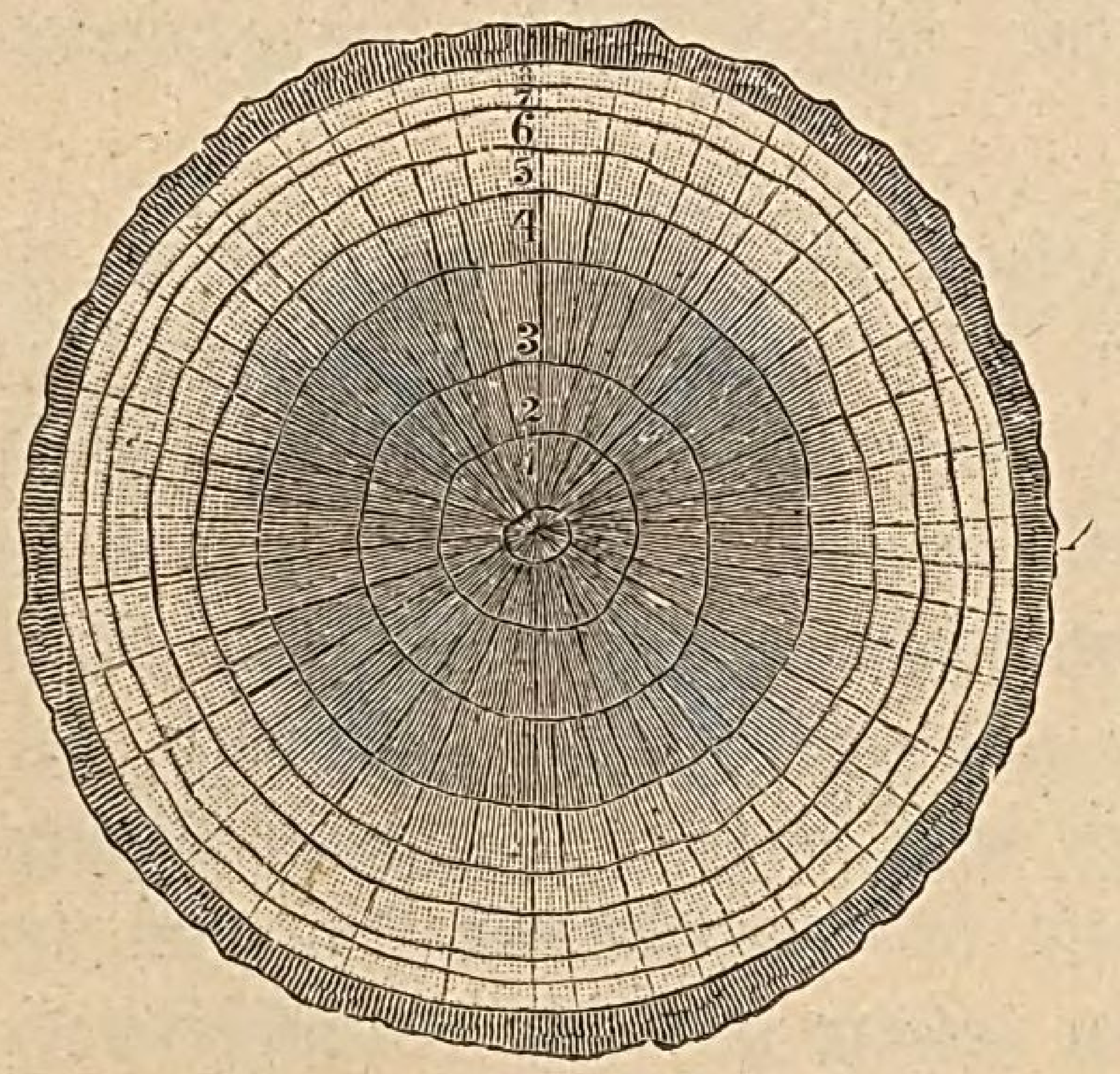
Der Raum der imbibierten Wände verhält sich zum Luft- und Wasserraum im Holz wie 1 : 1,68. Die imbibierten Holzwände nehmen also etwas mehr als ein Drittel des gesamten Holzvolumens ein.

Für die Kenntnis des Holzes und seiner Eigenschaften ist es noch wichtig, zu erwähnen, daß dasselbe beim Austrocknen seine Fähigkeit das Wasser zu leiten verliert. Ist Holz einmal vollständig ausgetrocknet, so kann es zwar noch Wasser imbibieren aber eine Leitung des Wassers findet nicht mehr statt. Ausgetrocknetes Holz hat offenbar eine ganz andere molekulare Beschaffenheit angenommen und ist im Sinne der lebendigen Pflanze kein Holz mehr. Daran schließt sich das Faktum, daß auch im Baum das Holz mit dem Alter andere chemische Veränderungen seiner Wände erleidet, welche ihm die Fähigkeit, Wasser zu leiten, nehmen. Betrachtet man den Querschnitt eines älteren Stammes, so unterscheidet sich das alte Holz, das sogenannte Kernholz oft schon durch seine dunklere Farbe vom jungen Holze, dem Splint. Das alte Holz hat nun für den Wassertransport gar keine Bedeutung mehr, es hat die Fähigkeit der Wasserleitung, die es im jugendlichen Zustande einmal besaß, ganz verloren. Nur das junge Holz, der Splint, ist imstande das Wasser zu leiten und wenn wir den Querschnitt eines Baumes mit seinen zahlreichen Jahresringen betrachten (Fig. 37), so haben, was die Wasserleitung anbetrifft, doch nur die äußersten Holzlagen einen Wert für den Baum. Die ganze übrige Holzmasse ist nur eine Stütze

der mächtigen Krone. Auch diese Thatsachen sprechen für die Annahme, daß sich das Wasser in den Wänden der Holzzellen bewegt. Weder durch Austrocknen, noch durch das Alter werden die Hohlräume den Zellen genommen und es wäre nicht einzusehen, weshalb der Baum die ungeheure Masse seines Kernholzes gar nicht als Wasserweg benutzt, sondern alle Jahre einen neuen frischen Holzring bildet, wenn nicht die Wandungen des jungen Holzes mit ihren Eigenschaften für die Wasserbewegung allein benutzbar wären.

2. Die Regulatoren der Transpiration.

Fig. 37.



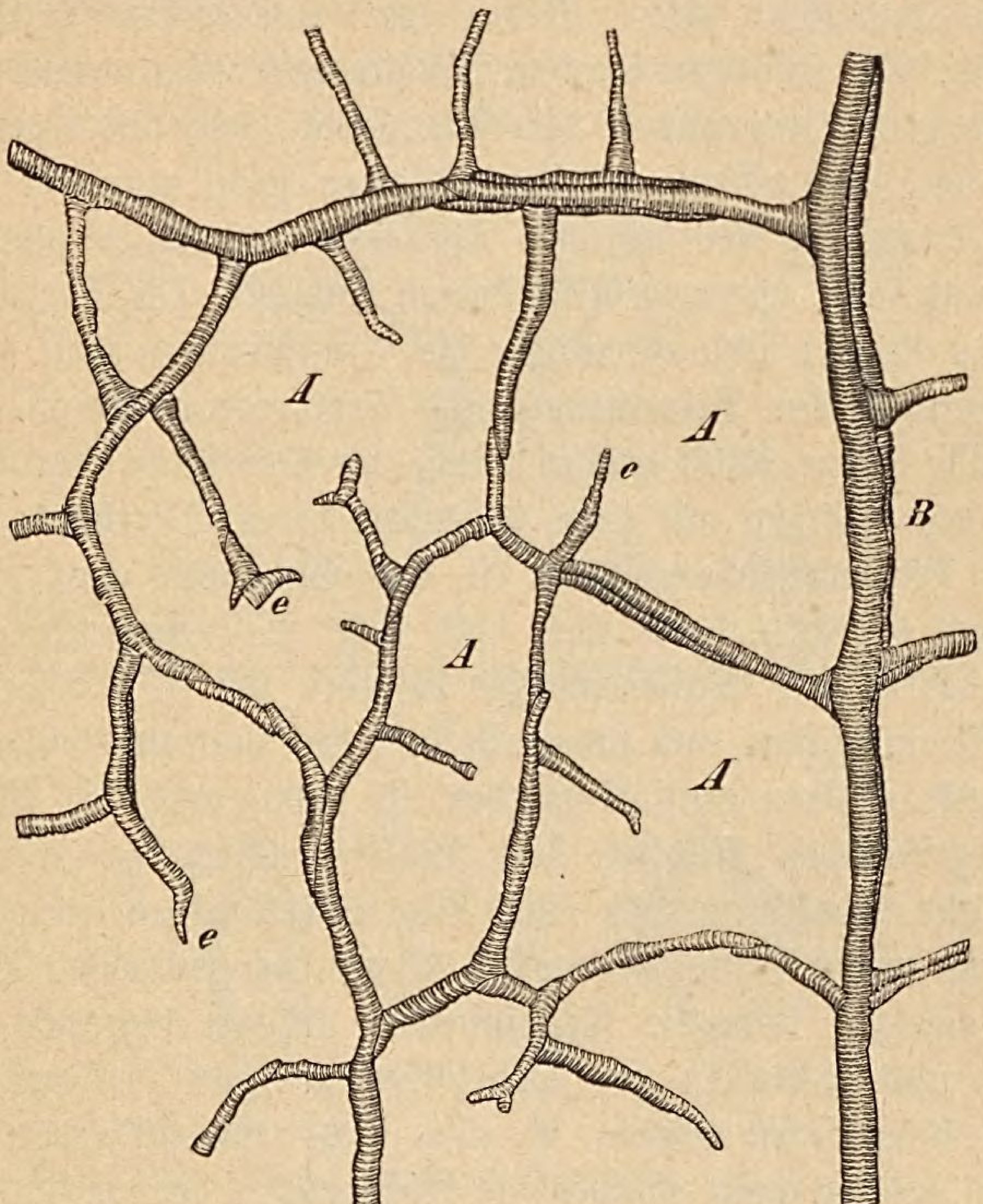
Querschnitt eines Stammes mit 8 Jahresringen. (schematisch). A) Rinde. Der Holzkörper ist von radialen Linien, den Markstrahlen durchzogen.

Die Endstation des Transpirationsstromes liegt in den Blättern. Alle Zellen des Blattes müssen mit dem Bodenwasser versorgt werden. Im Blatt endigen die Wasserbahnen, die Gefäßbündel. Immer feiner werden die Stränge, bis endlich die letzten und feinsten an einer Stelle blind auslaufen und zwischen dem grünen Blattgewebe ihr Ende haben. Unsere Fig. 38 stellt noch einmal ein kleines Stück des Blattes einer Glockenblume bei starker mikroskopischer Vergrößerung dar, um diese letzten Verzweigungen des Blattadernetzes zu veranschaulichen. Man hat sich nur alle weiß gelassenen Zwischenräume A noch mit grünen Blattzellen ausgefüllt zu denken, bei e erblickt man die letzten Endigungen der Stränge. Das Blatt ist durch diese Anordnung so mit Wasserzuflüssen versorgt, daß in jedem Moment die Verdunstung der Gewebe gedeckt werden kann.

Man darf aber nicht vergessen, daß es sich nicht bloß um

die Herbeischaffung des Wassers handelt, sondern daß das Wasser Salze mit in die Blätter führt, welche die Assimilation unterstützen. Es könnte für die Pflanze nicht von besonderem Nutzen

Fig. 38.



Ein Stück vom Adernetz eines Blattes bei starker Vergrößerung. Es sind nur die Spiralgefäße gezeichnet, während die vom grünen Parenchym eingenommenen Räume A) einfach weiß gelassen wurden. e) letzte blinde Endigungen der Blattgefäße zwischen dem grünen Blattgewebe.

sein, wenn zu allen Zeiten der Zufluß des Bodenwassers seinen unveränderten Gang beibehielte. Das Bedürfnis der Blätter an Bodenlösungen ist ja je nach den äußeren Umständen ein ganz verschiedenes. Bei geringerer Lichtintensität, bei niederer

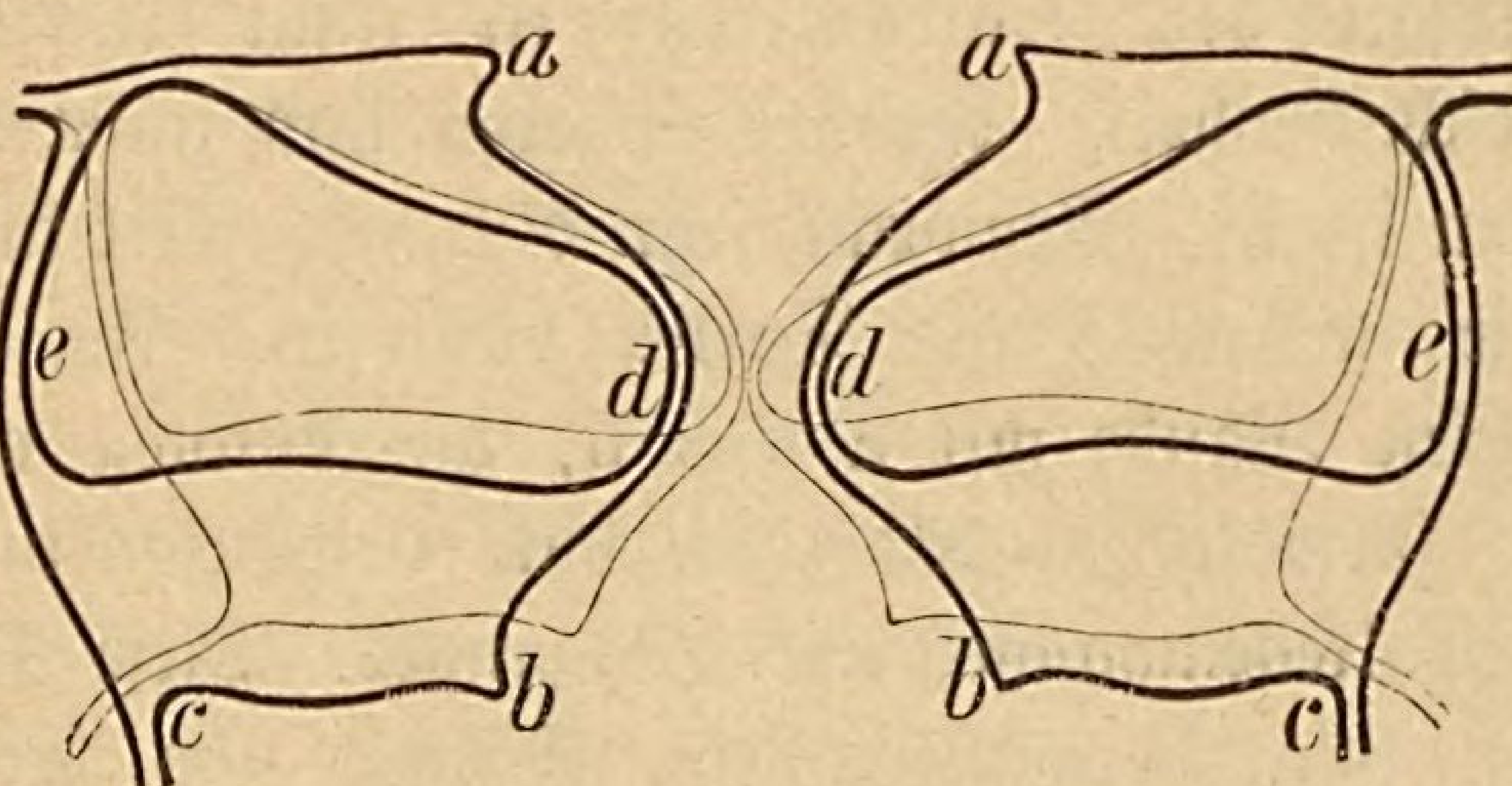
Temperatur ist die Assimilationsthätigkeit der Blätter herabgesetzt und unter diesen Umständen mindert sich auch der Bedarf an Wasser und Nährsalzen. Es ist leicht vorauszusehen, daß sich wohl thatsächlich auch der Wasserstrom diesem verschiedenen Bedürfnis anpassen wird. Sehen wir, auf welche Weise dies geschieht. Den Blättern kann nur Wasser zuströmen, wenn dieselben Wasser verdunsten und es ist einleuchtend, daß auf irgend eine Weise die Verdunstung an den Blättern selbst reguliert werden muß, damit sie bei kräftiger Thätigkeit des Chlorophylls sich hebe, und sinke, wenn die Assimilation nachläßt. Die Spaltöffnungen der Blätter sind es, welche die Transpiration den äußeren Bedingungen der Beleuchtung und Temperatur gemäß regeln.

Wir haben schon gesehen, daß die Oberfläche der Blätter durch den Überzug mit einer kutikularisierten Oberhaut vor zu starker Wasserabgabe geschützt ist, das Blatt soll zwar die Verdunstung besorgen, dabei aber doch nicht selbst vertrocknen. Für den Austritt des Wasserdampfes befinden sich in der Oberhaut Ausführungsgänge und indem so dem Verdunstungswasser ganz bestimmte Thüren geöffnet werden, ist damit auch die Möglichkeit gegeben den Austritt des Wasserdampfes zu regulieren. Sind alle Spaltöffnungen eines Blattes geschlossen, so wird kein oder nur wenig Wasser verdunsten können, bei geöffneten Schließzellen dagegen, kann die Transpiration lebhaft beginnen. Das Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen, auf welches schon früher hingewiesen wurde, ist also nicht ein zufälliges Spiel, sondern bedingt ganz notwendige Änderungen beim Ernährungsvorgang. Durch neuere Untersuchungen Schwendeners*) ist der Mechanismus des Öffnens und Schließens der Spaltöffnungen aufgeklärt worden und die Aktion derselben zu betrachten, ist von Interesse. Das Öffnen und Schließen der Spalte wird dadurch bewirkt, daß die Schließzellen ihre Gestalt verändern. In der Fig. 39 sind die beiden Schließzellen einer Spaltöffnung im

*) Schwendener, Über Bau u. Mechanik der Spaltöffnungen. Berichte d. k. Akadem. d. Wiss. zu Berlin. 1881.

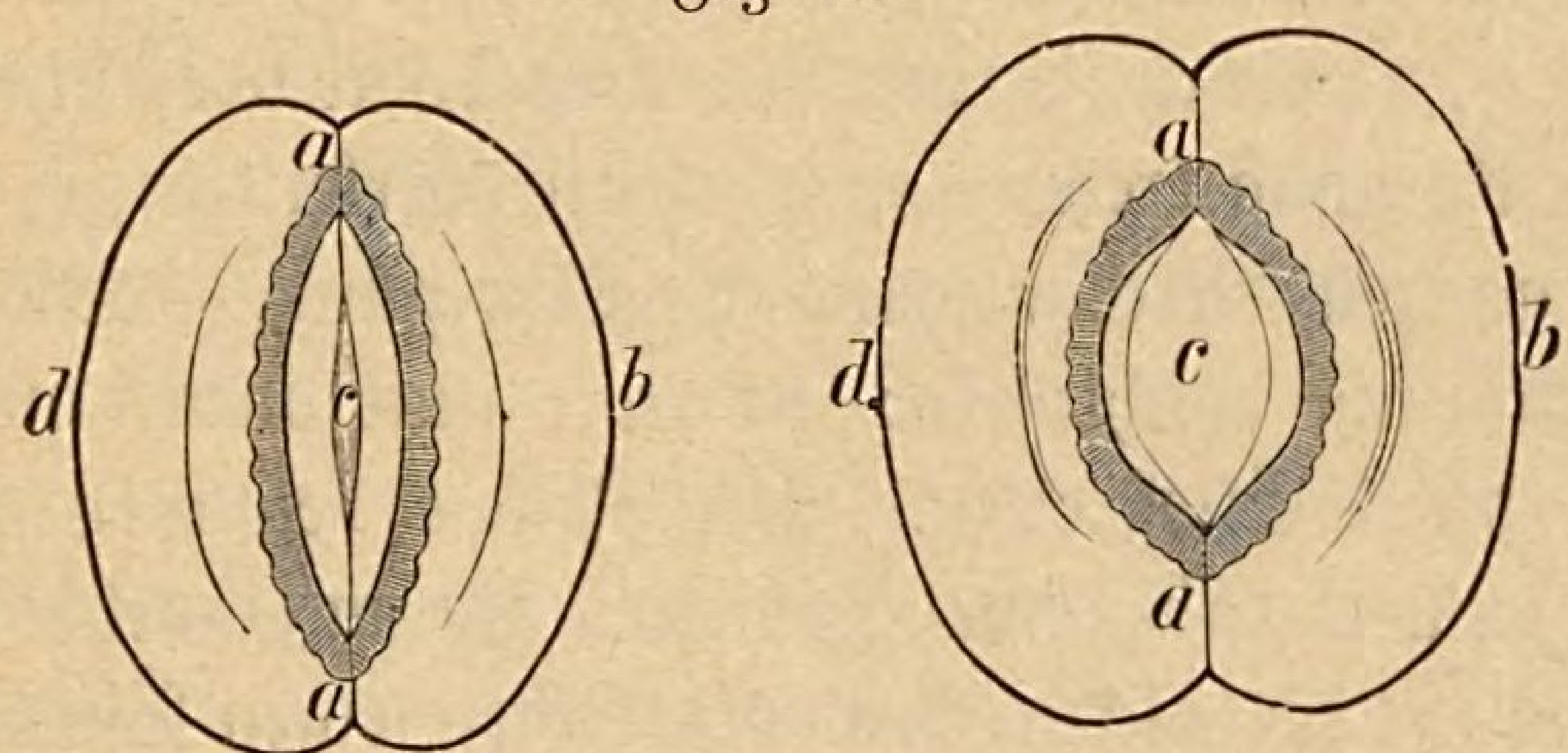
Durchschnitt in den beiden verschiedenen Stellungen übereinander gezeichnet, die sie beim Offen= und Geschlossensein der Spalte haben. Die stark gezogenen Linien geben den Umriß der beiden Schließzellen bei geöffneter Spalte an. Der Vergleich beider Umrisse ergiebt ohne weiteres, daß es sich nicht bloß um ein Zusammen= und Auseinanderrücken der beiden Schließzellen handelt, sondern daß diese in beiden Stellungen eine Änderung

Fig. 39.



Das Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen (nach Schwendener).

Fig. 40.



Spaltöffnung bei geschlossener und offener Spalte von oben gesehen.

ihrer ganzen Form erleiden. Die Formänderung wird bewirkt durch eine Änderung de Turgors der Zellen. Haben die Schließzellen ein Maximum von Wasser aufgenommen, so sind sie prall und strotzend. In diesem Zustande der Turgescens haben beide die Form, welche durch die starken Konturen in unserer Figur angegeben ist, die Spalte ist dabei geöffnet. Durch äußere Einflüsse wird es bewirkt, daß die Turgescenz der Zellen sich vermindert. Es tritt Wasser aus, dadurch erschlaffen die

Zellen und nehmen die Gestalt an, welche die feinere Umrißzeichnung in unserer Figur andeutet und sie schließen dadurch die Spalte. Durch den Eintritt der Turgescenz in den Schließzellen wird der Spalt geschlossen, durch Sinken des Turgors geöffnet. Von oben betrachtet, würde die Spaltöffnung die beiden Bilder Fig. 40 in ihren beiden Stellungen liefern.

Es kommen aber noch einige andere Verhältnisse für die Thätigkeit des Mechanismus in Betracht außer dem Turgor. Die Membran der Schließzellen ist nicht ringsherum von gleicher Beschaffenheit. An der äußeren und inneren Seite der Schließzellen ist die Membran sehr dick und stark kutikularisiert, während sie innerhalb des Porus dünn ist. In der Fig. 39 sind die dicken Wände mit a und b, die dünnen mit d und e bezeichnet. Gewöhnlich bildet die dicke Cuticula eine Art Leiste längs des Spalteneinganges und Ausganges. Diese Ausrüstungen wirken nun folgendermaßen beim Öffnen und Schließen des Spaltes mit. Durch die dünnen Wände e können die Schließzellen Wasser aus der angrenzenden Epidermiszelle aufnehmen oder abgeben, wodurch sie entweder turgescent oder schlaff werden. Bei diesem Vorgang treten nun die Cuticularleisten ins Spiel und setzen den ganzen Mechanismus in Bewegung. Denken wir uns die Spaltöffnung geschlossen; es trete nun durch die Wände e Wasser in die Schließzellen. Die Zellen beginnen zu turgescieren, sie wollen dabei einen größeren Raum einnehmen. Diesem Bestreben setzen die dicken Cuticularleisten einen Widerstand entgegen. Dagegen kann eine Dehnung an der dünnen Stelle bei d stattfinden. Dabei wird aber, wie leicht einzusehen, die Wand d zurückgezogen und indem dies in beiden Schließzellen geschieht öffnet sich der Spalt. Betrachten wir das zweite Schema, welches die Spaltöffnung von oben erblicken läßt, so ist es klar, daß, indem die Spalte sich durch das Zurückgehen der dünnen Wände öffnet, die Cuticularleisten a gebogen werden. Diese drücken nun wegen ihrer Elastizität auf die beiden Zellen und sobald durch Austritt von Wasser die Turgescenz abnimmt

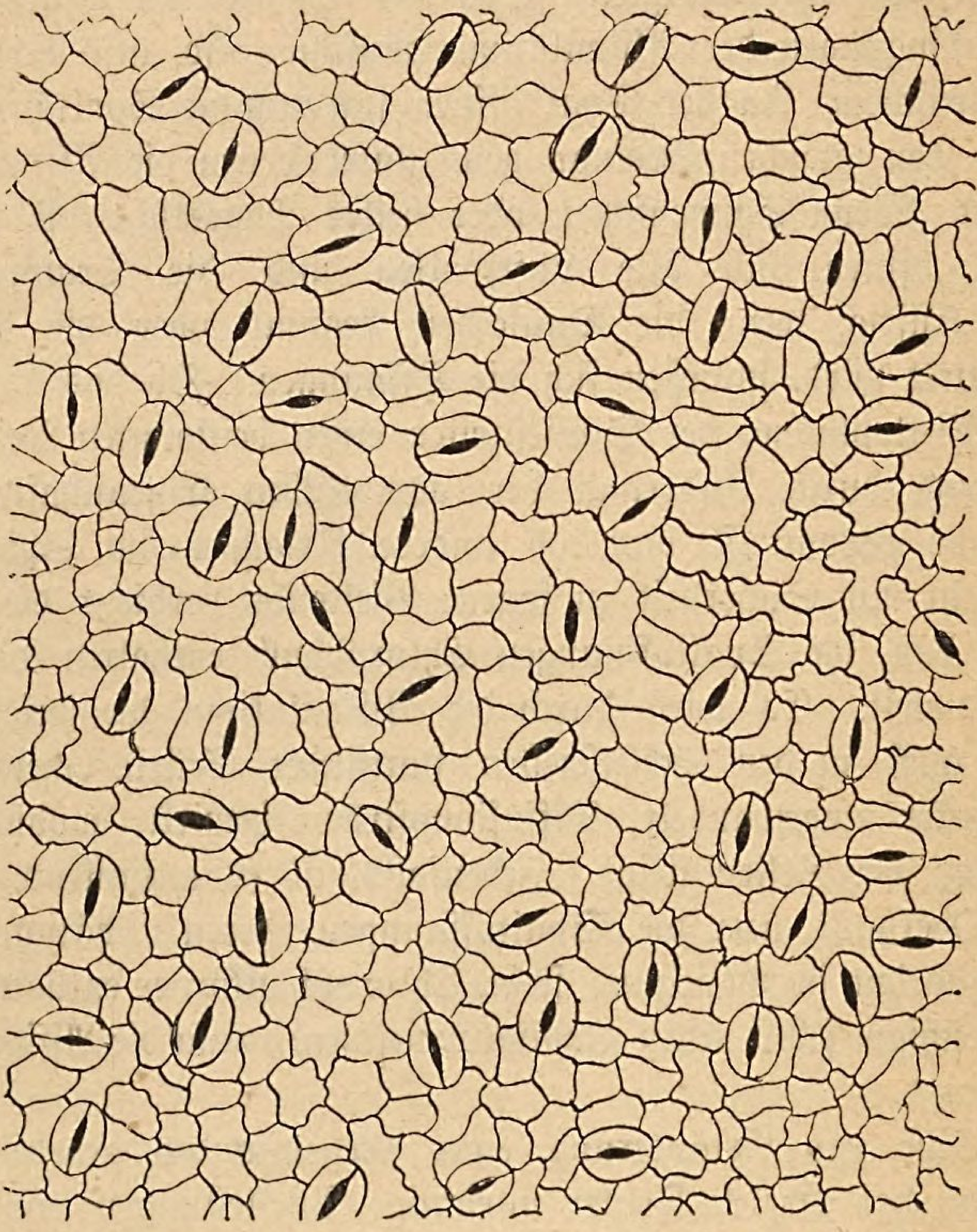
wird jede Schließzelle von ihren beiden Leisten a und b zusammengedrückt und die Folge davon ist, daß der Spalt sich schließt.

Das Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen hat natürlich nur dann einen Sinn, wenn es zu geeigneten Zeiten geschieht. Die Notwendigkeit ist da alle Spalten zu öffnen, wenn die Bedingungen der Assimilation günstige sind, also bei hellem Sonnenschein. In der That öffnen sich nun die Spaltöffnungen unter den gleichen Bedingungen, unter denen die Assimilation einsetzt. Wenn Sonnenschein oder helles Tageslicht die Blätter trifft, öffnen sich alle Luftspalten und die Transpiration wird kräftig, wenn die Dunkelheit beginnt oder die Pflanze beschattet wird, schließen sich die Öffnungen. Ob das Licht auf das Protoplasma der Schließzellen einen bestimmten Reiz ausübt und durch Änderung der osmotischen Eigenschaften den Turgor hervorruft oder ob andere Ursachen im Spiel sind ist nicht mit Sicherheit zu sagen: Vielleicht verdient die Thatsache, daß die Spaltöffnungen Chlorophyll enthalten die Aufmerksamkeit. Es wird durch die Assimilation, die bei hellem Licht auch in den Schließzellen stattfindet, Stärke erzeugt, die in Zucker umgewandelt, Diffusionsströme bewirkt, wodurch der Turgor der Zellen steigt. Jedenfalls ist es auffallend, daß in der Oberhaut nur die Spaltöffnungen, deren Thätigkeit zur Assimilation in Beziehung steht, Chlorophyllkörner enthalten und so gleichsam selbst einen Indikator besitzen, wann die Assimilation beginnt.

Eine zur Erläuterung eines Gegenstandes gegebene Abbildung hat oft den Fehler unrichtige Vorstellungen von dessen wahrer Größe zu erregen. Es ist daher bei dieser Gelegenheit darauf aufmerksam zu machen, daß die Spaltöffnungen nicht Organe von irgendwie bemerkbarer Größe, sondern von äußerster Kleinheit sind. Eine Spaltöffnung hat oft nur 6—7 hundertel Millimeter Durchmesser, die Spalte selbst ist oft nicht breiter als $^1/_{178}$ Millimeter, wenn sie geöffnet ist. Diese Kleinheit

scheint mit der hohen Bedeutung und mit der nicht unbedeutenden Aufgabe dem Wasserdampf Austritt zu gewähren, zu kontrastieren. Es geht aber hier wie häufig in der Natur und besonders im Pflanzenreich, daß oft die Kleinheit eines Gebildes

Fig. 41.



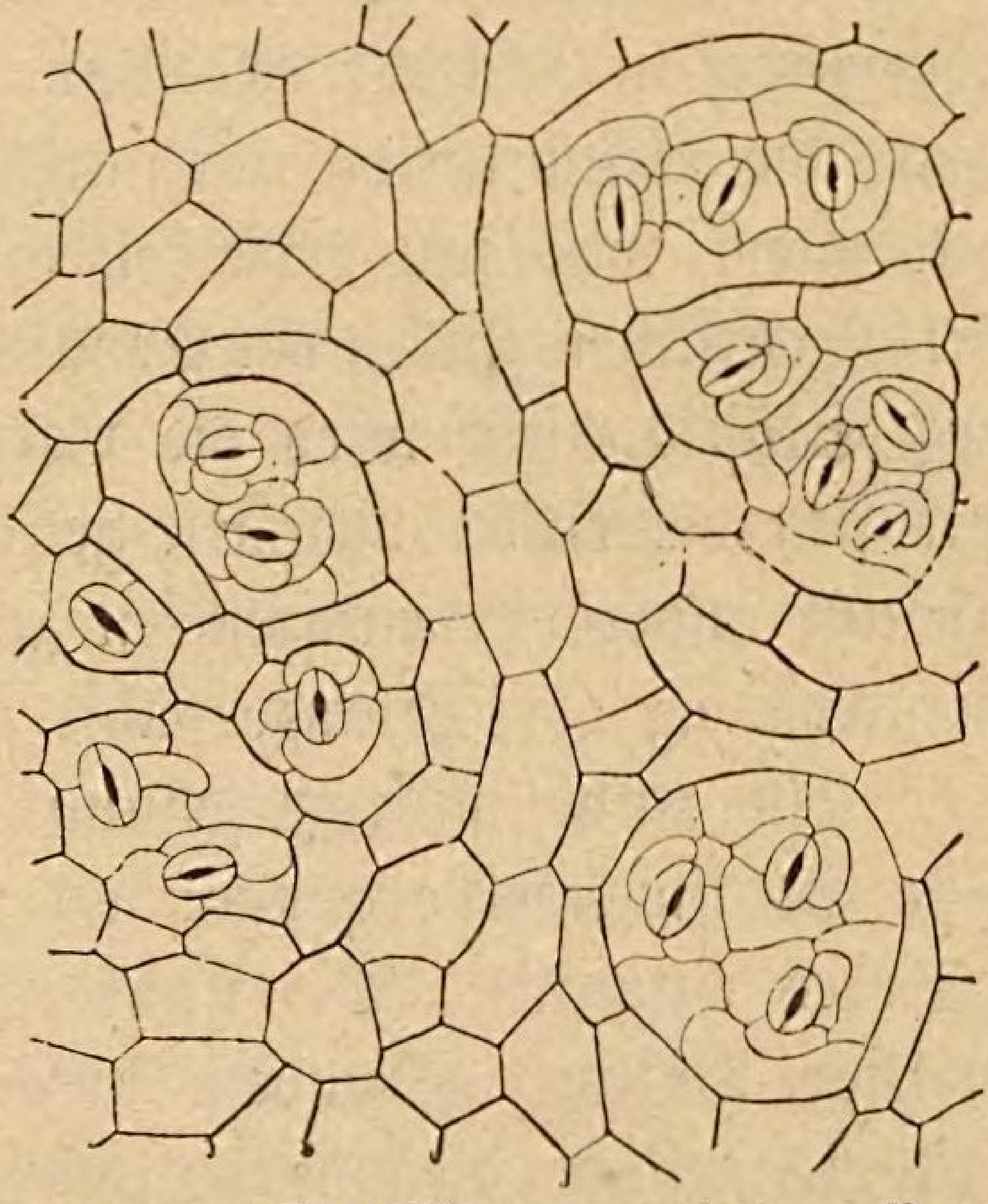
Spaltöffnungen in ihrer Verteilung in der Oberhaut des Blattes.

eine außerordentliche ist, aber durch Zusammenwirken von Millionen solcher kleinen Elemente ein ganz bedeutender Effekt erzielt wird. Die Kleinheit der Spaltöffnungen wird durch ihre Anzahl auf den Blättern ausgeglichen. 50 Spaltöffnungen auf 1 □ Millimeter ist eine geringe Zahl, man hat 700 auf bei 1 □ Milli-

meter gezählt, also auf einer Fläche die kaum so groß ist, wie der Buchstabe o unter den Typen dieses Bändchens. Ein Blatt von 1 □ Dezimeter Fläche würde, wenn man auch nur 200 Spaltöffnungen auf 1 □ Millimeter rechnete, auf nur einer seiner Seiten allein 2 000 000 Spaltöffnungen besitzen. Ein mittelgroßes Weinblatt besitzt (nach Müller-Thurgau) 3 842 850 Spaltöffnungen.

Zieht man von einem Blatt ein kleines Stückchen Epidermis ab und betrachtet es unter dem Mikroskop, so überzeugt man sich von der großen Menge der Spaltöffnungen, die den Epidermiszellen eingestreut sind. Sie finden sich oft ganz ohne erkennbare Regel verteilt wie Fig. 41 demonstriert. Zuweilen sind sie in regelmäßigen Reihen angeordnet oder auch wohl in Gruppen zusammengestellt, während dazwischen spaltöffnungsfreies Areal sich befindet.

Fig. 42.



Gruppen von Spaltöffnungen auf einem Begonienblatte.

Der pflanzliche Stoffwechsel.

1) Die Entstehung der Eiweißstoffe und ihre Verwendung.

Die gesamte Pflanzenernährung läßt sich zweckmäßig in zwei Abschnitte teilen. Der eine Abschnitt, die Kohlensäurezersetzung, umfaßt ausschließlich die Bildung organischer Substanz aus unorganischen Generatoren, aus Kohlensäure und Wasser. Im zweiten Abschnitt, den man als Stoffwechsel bezeichnet, findet die Umbildung und Verarbeitung des Assimilationsproduktes, die Überführung der Baustoffe in die Gewebe und die damit verbundene Abscheidung nutzloser Produkte statt. Die

Kohlensäurezersetzung ist eine Eigentümlichkeit der mit Chlorophyll begabten Pflanzen, bei den Tieren kommt dieser Vorgang nicht vor. Dagegen sind die Stoffwechselvorgänge bei den Pflanzen in ihrem chemisch-physikalischen Verlauf den tierischen Ernährungsvorgängen, die schon lange als Stoffwechsel bezeichnet werden, durchaus ähnlich.

Alles was bisher vorgetragen wurde, drehte sich um die Kohlensäurezersetzung und Stärkebildung, zu der auch die Wasserbewegung in nächster Beziehung steht. In der Folge werden wir uns, die Assimilation als abgeschlossenes Faktum betrachtend, mit allem, was sich derselben anschließt, beschäftigen und damit den eigentlichen Zielen der Ernährung näher rücken. Das Studium des Stoffwechsels wird die Bedeutung der Assimilation, welche für sich betrachtet vielmehr geeignet ist, den Blick von der Pflanze ab auf andere Lebenssphären zu lenken, in ihrer Tragweite für die Existenz der Pflanze selbst klarer hervortreten lassen. —

Die Kohlensäurezersetzung bildet das große Vorspiel für alle Stoffwechselvorgänge; es tritt uns im Stoffwechsel etwas anderes entgegen. Die Kohlensäurezersetzung ist an chlorophyllhaltige Organe gebunden. Nur in Zellen, welche Chlorophyll enthalten, findet dieselbe statt und nur dann, wenn das Chlorophyll vom Licht getroffen wird. Stoffwechselprozesse gehen aber in allen lebendigen Zellen vor sich, also auch in solchen, die kein Chlorophyll enthalten. Ebensowenig sind die Stoffwechselprozesse an das Licht gebunden. Sie verlaufen ganz ebenso im Finstern wie im Licht. Ein besonders bemerkenswertes Symptom der Kohlensäurezersetzung ist die Abgabe von Sauerstoff, ein Beweis, daß aus dem gegebenen Nährmaterial sauerstoffärmere Verbindungen entstehen. Bei den Vorgängen des Stoffwechsels wird dagegen umgekehrt in der Regel Sauerstoff aufgenommen und Kohlensäure abgegeben, es werden also die durch Assimilation gewonnenen kohlenstoffhaltige Produkte wieder zerlegt.

Wollen wir uns nun einen Überblick über den Stoffwechsel der Pflanzen verschaffen, so ist vorauszuschicken, daß der heutige

Stand unserer Kenntnisse nicht zu einem so abgerundeten Bilde führen kann, wie es von der Assimilation zu entwerfen möglich war. Mangelt uns auch bei dieser noch die lückenlose Einsicht in den Prozeß der Stärkebildung, so ist doch Anfang und Ende des ganzen Vorganges in ihrer Zusammengehörigkeit scharf genug gekennzeichnet. Viel mangelhafter sind wir über die Bildung der Stoffwechselprodukte unterrichtet. Die Unabhängigkeit der Stoffwechselvorgänge vom Licht und Chlorophyll, die Möglichkeit der Stoffbildungen und Umwandlungen in allen Zellen der Pflanze erschwert den örtlichen Nachweis und die Verfolgung der Substanzerzeugung und Stoffmetamorphose. Selbstverständlich wird schon durch die größere Anzahl von Stoffen, um die es sich handelt, die Erlangung einer völligen Klarheit erschwert; bei der Assimilation handelte es sich immer nur um die Stärke allein. Für manche Stoffe können daher die Ansichten sehr auseinandergehen, ob sie als für die Ernährung und den Aufbau der Organe nutzbare Substanzen anzusprechen sind, oder nur als Ausscheidungsprodukte und Nebenprodukte des Stoffwechsels. Solche Schwierigkeiten in der Beurteilung erscheinen durchaus verständlich, wenn man überlegt, daß die Pflanze nicht wie das Tier unbrauchbare Stoffe aus ihrem Körper hinausschafft. Sie besitzt, wenn wir von einigen secernierenden Haarbildungen absehen, keine Organe für die Ausführung um Auswurfsstoffe aus dem Körper zu entfernen. Spaltungsprodukte, welche im Stoffwechsel entstehen, bleiben in der Pflanze eingeschlossen, selbst wenn sie nutzlos sind, aber die vollkommene Sicherheit, ob solche Ablagerungen in der Pflanzenzelle in der That unbrauchbarer Ballast sind, ist aus der Beobachtung ihres Verhaltens nicht immer zu erlangen. Es wird sich, wie aus alledem erhellt, um ein möglichst genaues Studium der einzelnen Stoffe und ihres Verhaltens handeln, um daraus ihre Bedeutung für die Organbildung zu schließen.

Es ist ganz besonders eine Stoffgruppe, welche als Produkt des pflanzlichen Stoffwechsels in den Vordergrund tritt,

die Eiweißstoffe oder Proteïnsubstanzen. In einem Gegensatz zu den Kohlehydraten treten die Eiweißkörper durch ihren Gehalt an Stickstoff und Schwefel. Besonders der Stickstoffgehalt, welcher 15% beträgt, ist hervorzuheben; um seinetwillen pflegt man die Proteïnsubstanzen vor einigen anderen stickstoffhaltigen Verbindungen als „stickstoffhaltige Pflanzensubstanzen“ zu bezeichnen. Die Eiweißstoffe entstehen in der Pflanze, sie bilden sich durch Synthese aus einfacheren Faktoren; während wir aber bei der Stärke über die Bildungselemente vollständige Sicherheit besitzen, fehlt es bezüglich der Proteïnsubstanzen an festen Anhaltspunkten, aus welchen einfachere Verbindungen die Pflanze dieselben bildet. Nur das eine hat die künstliche Ernährung der Pflanze gelehrt, daß der Schwefel und Stickstoff unorganischen Verbindungen entstammen. Salpetersaure und schwefelsaure Salze, durch die Wurzel aus dem Boden aufgenommen, dienen als Quelle des Stickstoffs und Schwefels. Woher nimmt die Pflanze aber den kohlenstoffhaltigen Bestandteil, welcher zum Aufbau des Eiweißmoleküls erforderlich ist? Das physiologische Experiment, welches bei der Stärkebildung eine so unzweifelhafte Antwort auf die Frage nach der Herkunft des Kohlenstoffs gab, erlaubt uns nur bedingte Schlüsse zu ziehen. Die künstliche Ernährung liefert den Beweis, daß die Pflanzen Proteïnsubstanzen produziert, wenn ihr außer den Bedingungen der Assimilation Schwefel und Stickstoff zugeführt werden. Mit dem Material, welches durch die Thätigkeit des Chlorophylls erzeugt wird und mit Nitraten und Sulfaten ist sie thatsächlich imstande, die Synthese der Einweißkörper ins Werk zu setzen. Es liegt also der Gedanke nahe, die Stärke oder allgemein die Kohlenhydrate als kohlenstoffhaltiges Ingrediens für die Eiweißbildung anzunehmen. In den chlorophyllhaltigen Zellen wird aus Kohlensäure und Wasser das Kohlehydrat produziert, welches an den Orten der Eiweißbildung mit Nitraten und Sulfaten zusammentrifft und durch die im lebendigen Protoplasma wirkenden Kräfte zum Eiweißmolekül umgeschaffen wird.

Die Möglichkeit der Eiweißerzeugung aus einem Kohlehydrat und einer stickstoffhaltigen Verbindung in chlorophylllosen Zellen war durch Pasteur 1858 nachgewiesen. Hefezellen wurden von ihm mittels Zucker und weinsaurem Ammoniak als Stickstoffquelle ernährt, unter gleichzeitiger Zuführung der notwendigen Aschenbestandteile. Da die Hefe sich vermehrte, in ihrem sich mehrenden Protoplasma Eiweißsubstanz neu erzeugte, so ist in diesen Versuchen die Möglichkeit einer Eiweißbildung aus Kohlehydraten und einer Stickstoffverbindung gegeben. Bei dem Hefepilz oder anderen Pilzen, denen mit dem Mangel an Chlorophyll die Fähigkeit der Bildung von Kohlehydraten abgeht, müssen auch diese außer dem Stickstoffmaterial zugeführt werden. Die grüne Pflanze bedarf einer solchen Zufuhr des Kohlehydrates von außen nicht, sie erzeugt dasselbe durch Assimilation selbst und zur Eiweißbildung bedarf sie von außen nur eines Nitrates als Stickstoffträger und eines Sulfates für den Schwefel. Die bedeutende Produktion an Stärke und die Überführung derselben in alle Gewebe und an alle Orte der Organbildung läßt es sehr wahrscheinlich erscheinen, daß die Stärke, wie sie das Grundmaterial für andere Bildungsprozesse ist, den Kohlenstoff zur Eiweißbildung liefert. Natürlich ist damit über den Verlauf der Eiweißentstehung in der Pflanze noch nichts ausgesagt und es ist selbstverständlich die Sache nicht so aufzufassen, als ob direkt aus Stärke oder deren Umwandlungsprodukt der Glycose und einem Nitrat durch einfaches Zusammentreten Eiweiß entstünde.

Man hat auch die Möglichkeit diskutiert, daß eine stickstoffhaltige Substanz, welche in den Pflanzen sehr verbreitet ist, das Asparagin bei der Eiweißentstehung eine Rolle spiele. Das Asparagin wurde zuerst im gewöhnlichen Spargel (Asparagus officinalis) aufgefunden und erhielt daher seinen Namen, den es auch beibehalten hat, nachdem es durch die Analyse zu einer Formel gelangte und als Amid der Amidobernsteinsäure in die Reihe verwandter Körper eingefügt wurde. Was nun das Vor-

handensein des Asparagins in der lebenden Pflanze betrifft, so ist darüber folgendes zu sagen. Läßt man Samen von Hülsenfrüchten, z. B. der Wicke, Erbse, Lupine im Dunkeln keimen, so werden die Keimpflanzen, wie bekannt, farblos, sie etiolieren. Solche etiolierte Leguminosenkeimpflänzchen enthalten in beträchtlicher Menge Asparagin. Aus einem Liter Saft von Erbsenkeimpflanzen kann man 8—9 gr, aus derselben Menge Saft von Bohnenkeimlingen 14 gr, aus Wicken 9 gr reines Asparagin erhalten. Da die Samen der genannten Pflanzen vor der Keimung gar kein Asparagin enthalten, so ist die Annahme, daß diese Substanz aus dem Samen in die Pflanze eingewandert sei, ganz ausgeschlossen, das Asparagin bildete sich also erst während der Keimung. Nun ist es eine merkwürdige Thatsache, daß das Asparagin aus den Keimlingen verschwindet, wenn dieselben aus dem Finstern ans Licht gebracht werden, d. h. es verschwindet in der Weise, daß es von der Pflanze bei der Ernährung verbraucht wird. Das könnte nun darauf deuten, daß die massenhafte Anhäufung von Asparagin nur ein Symptom des krankhaften Zustandes wäre, in dem sich etiolierende Pflanzen befinden. Dagegen spricht aber eine andere Thatsache. Es kommt nämlich dieselbe Ansammlung von Asparagin, wie man sie in etiolierenden Keimpflanzen erhält, zustande, wenn die Pflanzen am Licht, aber mit vollständigem Ausschluß der Kohlensäure kultiviert werden. Das alles heißt nun: Wenn die Zersetzung der Kohlensäure verhindert wird, sei dies, daß man Pflanzen im Dunkeln erzieht oder daß man grünen Pflanzen die Kohlensäure vorenthält, so findet eine Ansammlung von Asparagin statt; wenn die Pflanze keine Kohlehydrate bilden kann, so häuft sie Asparagin an, während sie dasselbe in ihrem Ernährungsprozeß verwenden kann, so wie Kohlehydrate vorhanden sind. Diese auffallenden Fakta drängen dazu, eine nahe Beziehung beider Stoffe zu einander anzunehmen. Wenn wir die naheliegende Frage stellen, wozu denn das Asparagin bei gleichzeitiger Gegenwart von Kohlehydraten verwendet wird, so kann man

nur auf die Synthese der Eiweißstoffe gelenkt werden. Läßt man die Möglichkeit einer solchen Synthese gelten, so erklärt sich das Erscheinen und Verschwinden des Asparagins in befriedigender Weise. Da für die Bildung von Eiweißstoffen aus Kohlehydraten und Asparagin die ersteren in genügender Menge zugegen sein müssen, so ist die Anhäufung des Asparagins beim Mangel von Kohlehydraten verständlich und es ist andererseits begreiflich, weshalb in den normal vegetierenden Pflanzen, welche in jeder Minute Stärke bilden, kein Asparagin aufzufinden ist.

So zweifellos es durch das Experiment der künstlichen Ernährung entschieden werden kann, daß die Pflanze mit Hilfe anorganischer Stickstoffverbindungen imstande ist, Eiweiß zu bilden, so schwierig ist, wie man sieht der Versuch, den Chemismus dieser Vorgänge aufzuklären. So lange, bis es gelungen sein wird, durch Auffindung beleuchtender Thatsachen dem wirklichen Verlauf der Bildungsprozesse näher zu treten, müssen Hypothesen den Faden bilden, um den Weg der Forschung zu markieren. Die experimentelle Lösung der Fragen über chemische Vorgänge im Pflanzenkörper stößt auf bedeutende Schwierigkeiten, da die Versuche, dieselben unabhängig vom lebendigen Organismus im Laboratorium nachzuahmen, meistens fehlschlagen. Damit ist nicht gesagt, daß die Ernährungsvorgänge von anderen Kräften beherrscht werden oder nach anderen Gesetzen verlaufen als chemische Prozesse überhaupt. Es leuchtet aber ein, daß die Methode der Darstellung eines Produktes eine sehr verschiedene sein kann und wenn wir auch imstande sind, eine Pflanzensubstanz in unseren Laboratorien künstlich herzustellen, so fragt es sich immer noch, ob die Pflanze ganz derselben Bildungsweise folgt, wie unsere chemische Methode. In dem ätherischen Öl einer amerikanischen Pflanze, Gaultheria procumbens, findet sich der Methyläther der Salicylsäure. Wir können diesen Äther künstlich durch Destillation von Salicylsäure mit Holzgeist und Schwefelsäure darstellen. Die Pflanze macht es natürlich anders und stellt den Äther durch einen Prozeß her, der bei gewöhn-

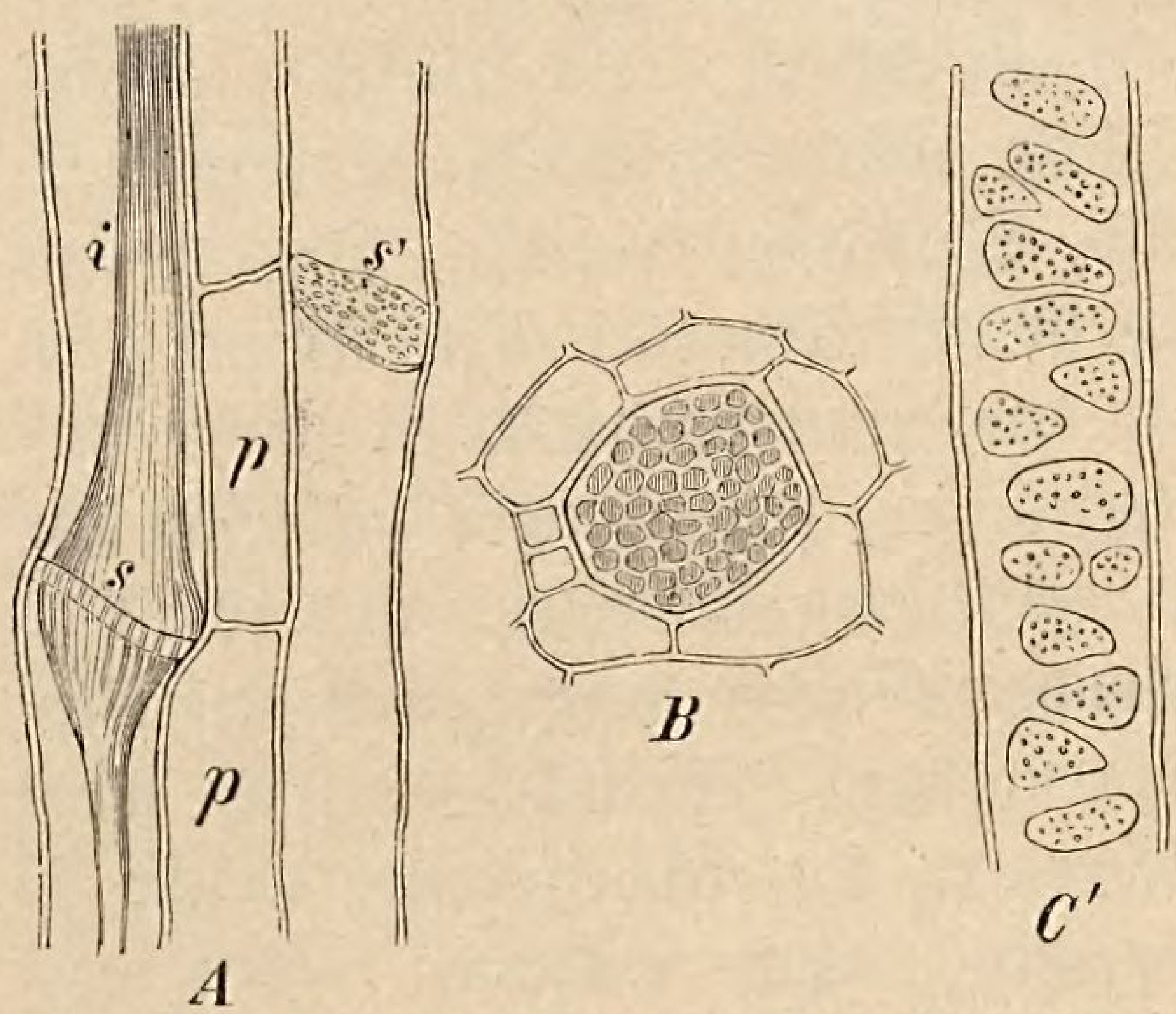
licher Temperatur verläuft. Unsere Darstellungsmethoden sind diejenigen, welche sicher und glatt mit größter Ausbeute zum Ziel führen, kurz, welche nach unseren Begriffen und Verhältnissen zweckmäßig sind. An diese Bedingungen ist die Pflanze nicht gebunden. Im Organismus wird möglicherweise eine so komplizierte und fernliegende Methode befolgt, daß wir gar nicht auf dieselbe verfallen würden, wenn wir auf unserem chemischen Arbeitstische die Aufgabe zu lösen hätten. Es ist nicht ausgeschlossen, daß wir trotzdem dahin streben, die chemischen Prozesse des Organismus außerhalb desselben nachzuahmen, um zu vollem Verständnis zu gelangen. Solche Versuche sind ja zum Teil schon gelungen, allerdings gerade nicht für die allerwichtigsten Vorgänge der Stoffbildung durch das Leben.

Es ist nicht allein das Wie der Entstehung von Pflanzensubstanzen, welches uns interessiert, wir müssen auch nach den Orten dieser Bildungsvorgänge fragen. Bei der Stärke läßt sich mit Leichtigkeit und Sicherheit das Chlorophyllkorn als Entstehungsort bezeichnen, für die Eiweißstoffe Orte der Bildung aufzufinden, stößt auf Schwierigkeiten. Die Eiweißstoffe, nur ausnahmsweise als bestimmt geformte Körper auftretend, bilden sich nicht in besonderen vom Zellinhalt diskreten Organen, wie dies bei der Stärke der Fall ist. Ebensowenig ist ihre Entstehung an so prägnant hervortretende Bedingungen geknüpft, wie die Stärkebildung, welche als Wegweiser auf bestimmte Orte hindeuten könnten. Es unterliegt keinem Zweifel, daß in jeder Zelle Eiweiß entstehen kann und daß sich die nötigen stofflichen Elemente die Bedingungen für deren chemische Wechselwirkung in jeder Zelle zusammenfinden können. An das örtliche Vorhandensein von Chlorophyll ist die Eiweißbildung selbst nicht gebunden, wenn auch das Material notwendigerweise auf irgend eine Art aus assimilierenden Zellen den Orten der Eiweißentstehung zugeführt worden sein muß. Die Ernährung der Pilze, welche gar kein Chlorophyll besitzen, beweist, daß in chlorophylllosen Zellen Eiweiß entstehen kann. Wird den Pilzen nur auf irgend

eine Weise die Aufnahme von Kohlehydraten, Nitraten und Sulfaten ermöglicht, so entsteht Eiweiß unabhängig von der Gegenwart des Chlorophylls und auch unabhängig vom Lichte. Diese Thatsachen geben natürlich keine Veranlassung, die Fähigkeit der Eiweißbildung ausschließlich den chlorophyllfreien Zellen einer Pflanze zuzuschreiben. Unter den Algen giebt es zahllose Formen von einfachster Gestalt. Das ganze Individuum ist nur eine einzige Zelle oder bei höheren Stufen ein einfacher Zellfaden. Alle Zellen enthalten Chlorophyll, hier giebt es also gar keine chlorophylllosen Zellen an der ganzen Pflanze und doch produzieren diese grünen Algen Eiweiß. Die Entstehung desselben erfolgt in derselben Zelle, welche durch ihre Chlorophyllausrüstung in der Lage sind, Stärke zu bereiten. In der einfachen Algenzelle sind Prozesse verschiedenster Art, Assimilation und Stoffwechselvorgänge in den einen vorhandenen Raum verwiesen. Bei den höheren Gewächsen, bei Kräutern und Bäumen, ist im allgemeinen eine Arbeitsteilung bemerkbar und so ist es wohl denkbar, daß hier besondere Gewebe vorzugsweise die Produktion der Eiweißkörper übernehmen. So wäre es z. B. wohl möglich, daß in den Siebröhren die Eiweißstoffe, welche in denselben transportiert werden, auch entstehen. Bei dem anatomischen Studium der Gefäßbündel wurde schon auf den Siebteil aufmerksam gemacht, dessen wesentliches Element die Siebröhren sind. Sie stellen langgestreckte, dünnwandige Röhren dar, welche wiederholt durch Querplatten unterbrochen sind, die eine siebartige Durchlöcherung besitzen. Fig. 43 erläutert die Form einer einzelnen Siebröhre. A demonstriert eine kurze Strecke von Siebröhren des Kürbisstengels mit etwas geneigten Siebplatten s und s^1. Selten nur besitzen diese nämlich eine genaue horizontale Lage, sondern nehmen die verschiedensten Neigungen zur Längsachse der Siebröhre an. Man erblickt daher bei s^1 in der Abbildung eine Platte zum Teil von oben, weil dieselbe eine schiefe Lage hat; die Siebplatte s sieht man im optischen Durchschnitt. Nicht immer durchsetzen die Siebplatten

die Siebröhren der Quere nach, zuweilen liegen sie der Seitenwand an und setzen dadurch zwei benachbarte Röhren in Kommunikation (C). Soviel über die Form. Es kommt hier wesentlich auf den Inhalt der Siebröhren an. Sie enthalten namentlich in den jüngeren Teilen der Pflanzen einen eiweißähnlichen Schleim, der in ihnen fortgeleitet wird, um an anderen Orten verbraucht zu werden. Die Eiweißmasse bewegt sich dabei durch die Poren der Siebplatten hindurch, aus einer Abteilung der Röhren in die andere und fließt langsam den Verbrauchsorten zu. Es erscheint nicht unwahrscheinlich, daß die Eiweißsubstanzen nicht nur in den Siebröhren fortgeleitet werden, sondern auch in diesen entstehen. Die Ingredienzen Stärke und Zucker finden sich immer in nächster Nähe der Siebröhren angesammelt, kleine Stärkekörner sind sogar im Siebröhreninhalt selbst nachgewiesen. Nitrate und Sulfate verbreiten sich in Lösung durch alle Gewebe und können zu den Siebröhren Zutritt finden und so verdient, da man alle Faktoren und das Endprodukt beisammen findet, die Annahme der Entstehung von Eiweiß in den Siebröhren wohl die Aufmerksamkeit.

Fig. 43.



Siebröhren. A) vom Kürbis s s') Siebplatten. i) Inhalt der Siebröhre aus eiweisartigem Schleim bestehend. p) Parenchymzellen. B) Siebplatte von oben gesehen. C) Stück einer Siebröhre des Adlerfarns mit seitlichen Siebplatten.

Wir haben uns über die Entstehung der beiden wichtigsten Substanzgruppen, der Kohlehydrate und Eiweißsubstanzen, Rechenschaft zu geben gesucht. Es ist aber nicht die Aufgabe der Pflanze, diese Stoffe in sich anzuhäufen. Die Pflanze ernährt

sich nicht, um ihr Körpergewicht zu vergrößern, sondern sie ernährt sich, um zu leben, d. h. um die Ziele zu erreichen, welche ihr in den Entwickelungsgesetzen aller gleichartigen Individuen vorgezeichnet sind. Die wichtigste Frage ist es daher, welche Bedeutung die Pflanzenstoffe für das Leben der Pflanze besitzen, welchen Anteil sie am Aufbau der Organe nehmen oder wie sie als substantielle Träger von Kräften im Cyklus der Lebenserscheinungen mitwirken. Diese Frage beantwortend, erblicken wir in den Eiweißstoffen das Material zur Bildung des pflanzlichen Protoplasmas zur Konstitution des Zellkerns und der Chlorophyllkörner.

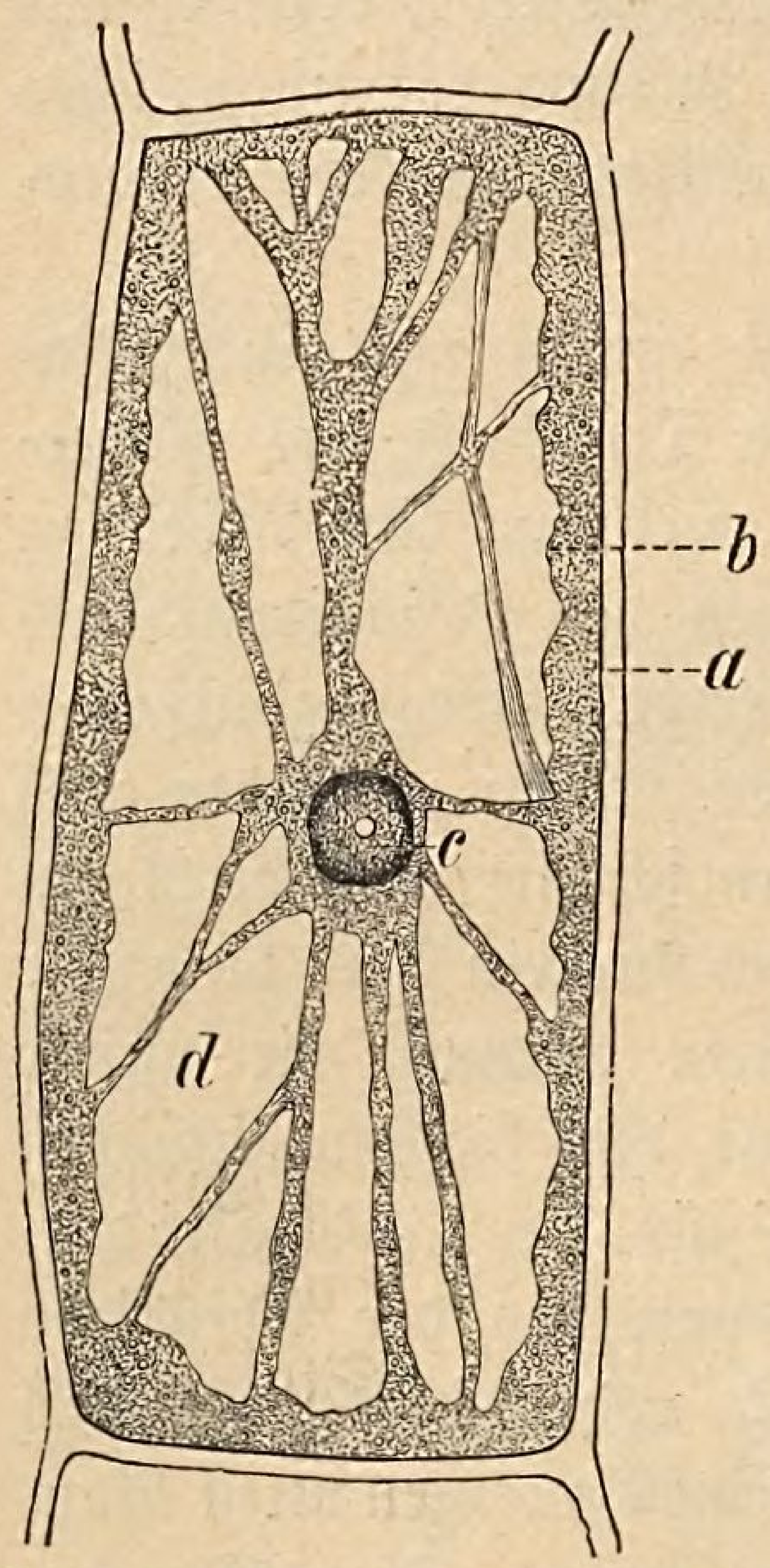
Man kann den Organismus wohl einmal mit einer Maschine vergleichen. Wie hier durch die Triebkraft das Räder- und Stangenwerk in Bewegung gesetzt wird, um eine Arbeit zu leisten, so erscheinen auch die Leistungen des Organismus als Resultanten des Zusammengehens äußerer Bewegungsursachen und gegebener Struktureigentümlichkeiten. Mag uns aber auch ein Uhrwerk, welches mit tausend Rädern schnurrt und dreht, an etwas Lebendiges erinnern, so ist es doch nur ein stark hinkender Vergleich. Aus Eisen, Holz und Stein erbauen wir unsere Maschine, ein totes Material ist es, aus dem die Einrichtungen konstruiert sind, welche Angriffspunkte für die Triebkraft darbieten sollen. Im lebendigen Organismus, in der lebendigen Pflanze ist die Verknüpfung von Kraft und Materie eine viel unmittelbarere. Der Pflanzenleib ist kein Bau von toten Baustücken, er besteht aus lebendiger Substanz. Die Pflanzensubstanz selbst ist lebendig und diese innige Durchdringung der Materie mit bewegenden Kräften ist es vor allem, welche den Eindruck des Lebens, des Organismus im Gegensatz zum Mechanismus so eindringlich empfinden läßt.

Diejenige Substanz, welche sich im eminentesten Sinn als Trägerin der Lebenserscheinungen offenbart ist das Protoplasma. Es bedingt die Fähigkeit der Pflanze Stoffe zu erzeugen und umzubilden und ihre Reizbarkeit gegen äußere Ein-

flüsse, welche als Geotropismus, Heliotropismus u. s. w. zum Ausdruck kommt.

Es wird schwierig sein, durch das Lesen einiger Absätze von dieser Substanz eine richtige Vorstellung zu gewinnen, zu deren Erlangung kaum die unausgesetzte Beschäftigung mit dem Protoplasma ausreichend ist.

Fig. 41.



Zelle eines Kürbishaares als Schema für die Protoplasma-Anordnung in der erwachsenen Gewebezelle.

Das Protoplasma ist eine farblose Materie von besonderem schleimig-flüssigen Aggregatzustande, und doch würde es nicht richtig sein, es mit bekannten Schleimen oder Gallerten direkt zu vergleichen. Gewöhnlich ist es keine ganz homogene Masse. Abgesehen davon, daß äußere Schichten dichter zu sein pflegen, sind zahlreiche Körnchen verschiedener Größe in die durchsichtige Masse eingestreut. Bei den niedersten Pflanzen z. B. den Myxomyceten oder Schleimpilzen stellt das Protoplasma als ein seine Gestalt ändernder Klumpen den ganzen Organismus dar, erscheint bei den Befruchtungskörpern und Schwärmsporen der Algen ebenfalls noch nackt, aber doch in bestimmter Konturierung und bildet bei den höheren Pflanzen in ihren Billionen Zellkammern deren lebendigen Inhalt, mit einer ganz charakteristischen Konfiguration. Während embryonale Zellen vollständig mit Protoplasma angefüllt sind, nimmt dasselbe in weiter entwickelten Zellen nur einen Teil des Innenraumes ein. Wie die Tapete eines Zimmers dessen Wände bedeckt, so bildet das Protoplasma auf der Innenseite der Zellhaut (b) einen dicht anliegenden Überzug, den Wandbeleg a. Der Zellkern (c), ein kugeliges Gebilde von proto-

plasmatischer Substanz, nimmt einen Platz im Zellraum ein, der zentral sein oder auch der Zellwand genähert sein kann. Den Zellkern pflegt eine Kernhülle von Protoplasma zu umgeben, die nun mit dem Wandbeleg durch zahlreiche fadenförmige Protoplasmastränge in Verbindung steht, welche den Innenraum der Zelle nach allen Richtungen durchziehen. Was vom Protoplasma noch freigelassen wird, erfüllt der Zellsaft d eine wässerige Lösung verschiedener Substanzen, von Kohlehydraten, Salzen ꝛc. Nicht nur durch diese Differenzierungen erscheint das Protoplasma als etwas ganz anderes als ein bloßes totes Gemenge chemischer Verbindungen. Sein lebendiger Zustand äußert sich durch eine stetige Bewegung. Die ganze Protoplasma-Anordnung bewegt sich innerhalb ihrer Membran, verändert die Lage ihrer Teile, so daß die Konfiguration des Zellinnern in jedem Moment eine andere ist. Diese Bewegung ist nicht etwa eine hypothetische, sondern eine sichtbare. Allerdings läßt sie sich, da sie im allgemeinen sehr langsam vor sich geht, nicht in jeder beliebigen Zelle momentan erblicken, an gewissen Objekten, namentlich in manchen Pflanzenhaaren, wo die Bewegung eine raschere ist, ist sie aber sehr deutlich zu beobachten. Die Pflanzenhaare, welche die Oberfläche der Blätter, Stengel und anderer Organe häufig bedecken, bestehen vielfach aus Reihen von Zellen und wenn man solche Haare, z. B. die Haare junger Kürbispflanzen, vorsichtig ohne sie zu lädieren von der Pflanze ablöst, so können ihre Zellen tagelang in dem Wassertropfen eines Objektträgers fortleben. Beobachtet man eine solche Haarzelle unter dem Mikroskop und faßt eines der in die Protoplasmamasse eingestreuten Körnchen ins Auge, so wird man ein Fortrücken desselben bemerken können. Jeder Protoplasmafaden, der die Zelle durchsetzt, gleicht einem Strome, auf dem die Körnchen in verschiedener Richtung und wechselnder Geschwindigkeit vorwärts und rückwärts schwimmen. Sie lenken in einen anderen Strom ein oder werden mit in den Wandbeleg geführt und machen die Runde durch die ganze Zelle. Das ganze Stromsystem selbst, in welchem diese lebhafte Zirku-

lation stattfindet, ist aber ebenfalls stetigen Veränderungen und Verschiebungen unterworfen. Bald wird ein Protoplasmaband schmäler, bald breiter, — zwei getrennte Bänder vereinigen sich, fließen ineinander, — ein neuer Faden schiebt sich langsam aus dem Wandbeleg hervor, um bald eine neue Strombahn abzugeben, und so fort.

Und doch besteht diese vielgestaltige Substanz, die in ihren Äußerungen ebenso mannigfach als rätselhaft erscheint aus Stoffen, deren chemischer Charakter uns bekannt ist. Einen ganz wesentlichen Gemengteil bilden die Eiweißstoffe, den an Quantität bemerkenswerten das Wasser, welches dem Protoplasma die mehr oder weniger weiche Konsistenz verleiht; Fette, Kohlehydrate, organische Verbindungen anderen Charakters in verschiedener Quantität und Aschenbestandteile komplizieren das Gemenge. Es ist einzusehen, daß selbst eine genauere Analyse des Protoplasmas uns keine wesentliche Unterstützung für die Erkenntnis seines eigentlichen Wesens gewähren würde. Zu erfahren, welche Bedingungen vorhanden sein müssen, damit aus den leblosen Stoffen das lebendige Protoplasma entstehe, bleibt unserem Verlangen versagt, selbst wenn uns alle einzelnen Gemengteile des Protoplasma bekannt wären. Von großem Nutzen ist uns aber die Kenntnis der wichtigsten Bestandteile des Protoplasmas, da sie es zweifellos macht, welches Ziel die Produktion der stickstoffhaltigen Substanzen, der Eiweißstoffe in der Pflanze hat. Sie dienen zur Regeneration des Protoplasma und zur Vermehrung seiner Menge ohne deren Neubildung auch die Neubildung von Zellen und das Wachstum der Organe nicht denkbar wäre.

Diese Orientierung über den endlichen Verbleib der pflanzlichen Eiweißstoffe legt die Frage nahe, woher das Material komme zur Erhaltung und Neubildung des anderen Zellbestandteiles, der Zellhaut. Die Zellmembran besteht aus Cellulose, einem Kohlehydrat. Die Cellulose ist ein bekannter Stoff, schwedisches Filtrierpapier besteht aus fast reiner Cellulose, ebenso die Baumwolle und die zu Geweben verarbeitete Hanf- und

Leinfaser, wobei man jedoch beachten muß, daß diese technisch dargestellte Cellulose, wenn auch noch chemisch identisch mit der Zellmembran sich doch in einen ganz anderen Molekularzustande befindet als die Membran einer lebenden Zelle.

Bei ihrer Entstehung in der Pflanze wird die Zellmembran immer vom Protoplasma ausgeschieden. Ohne das Vorhandensein, ohne die Vermittelung eines Protoplasmakörpers bildet sich keine Zellwand. Ein paar Beispiele mögen diesen Vorgang der Anschauung etwas näher rücken. Unter den Algen, welche in stehenden Gewässern und in Bassins als grüne Masse auf der Oberfläche schwimmen, ist eine Art häufig vertreten, welche wegen der spiralförmigen Anordnung ihres Chlorophylls den Namen Spirogyra führt. Bei dem Fortpflanzungsakt dieser aus einem einfachen Zellfaden bestehenden Alge treten aus den Zellen zweier verschiedener Spirogyrafäden, nachdem diese durch seitliche Ausstülpungen miteinander verschmolzen die Protoplasmakörper zu einander. Der Protoplasmakörper der einen Zelle schlüpft in die andere hinüber und die beiden Protoplasmakörper verschmelzen miteinander, wie zwei Wassertropfen sich vereinigen. Der entstehende kugelförmige Körper ist eine Spore, aus der später ein neuer Spirogyrafaden erwächst. Nachdem die Kopulation der beiden Plasmakörper erfolgt ist, scheidet die Spore auf ihrer Oberfläche eine Membran aus Cellulose aus und schafft sich selbst eine Hülle für ihren lebendigen Körper. Es ist dies nur ein Beispiel der Entstehung einer Cellulosemembran aus dem Protoplasma, ein Vorgang, der sich namentlich bei vielen Befruchtungskörpern und Schwärmzuständen von Algen und Pilzen verfolgen läßt, bei denen der Protoplasmakörper einige Zeit ohne Membran existiert und sich erst später damit umgiebt. Etwas anders gestaltet sich die Bildung der Zellwände bei der Gewebebildung der höheren, beblätterten Pflanzen, welche wir hier vorwiegend im Auge haben. Wären die Pflanzen durchsichtig, so würden wir in ihrem Körper neben den Fasern der Gefäßbündel ein Gerüst von Billionen von Zellkammern erblicken,

in denen das Protoplasma und der sonstige Zellinhalt eingeschlossen ist. Während eine Pflanze wächst entstehen, namentlich an den Orten, wo sich neue Organe bilden, stets neue Zellen, indem mit dem Wachstum immer wieder eine neue Fächerung stattfindet. Dies geschieht in der einfachen Weise, daß schon vorhandene Zellen durch die Bildung einer Cellulosewand in zwei Zellen geteilt werden. Nachdem der Zellkern durch einen komplizierten Teilungsvorgang in zwei Kerne zerfallen ist, wird vom Protoplasmakörper eine Cellulosemembran ausgeschieden, die ihn selbst teilend als dünne Wand die Zelle durchsetzt. Man kann sich den Vorgang durch die Teilung eines größeren Zimmers durch eine Wand in zwei kleine Räume versinnlichen.

Ist es nicht schwer, sich eine Vorstellung von der Äußerlichkeit dieses Vorganges zu machen, so ist die Schwierigkeit um so größer sich über seinen Chemismus einen Gedanken zu machen. Es handelt sich bei der Cellulosebildung aus dem Protoplasma ja nicht etwa nur um eine Erhärtung der äußeren Schicht des letzteren. Die Cellulose ist ja eine Substanz von ganz anderer chemischer Konstitution, sie ist ein Kohlehydrat, während das Protoplasma im wesentlichen eine Proteïnsubstanz ist. Die Möglichkeiten sind also die, daß die Cellulose im Moment ihrer Ausscheidung durch chemische Spaltung aus stickstoffhaltigen Bestandteilen des Protoplasma erst entstünde, oder daß ein stickstofffreier Gemengteil des Protoplasma im Akte der Zellteilung an bestimmter Stelle als Zellhaut ausgeschieden wird. Es ist kein Grund vorhanden anzunehmen, daß die Cellulosemoleküle im Protoplasma als solche vorhanden wären und im Momente der Zellteilung den Orten der Scheidewandbildung zueilten, um als feste Membran zusammenzuschließen. Viel wahrscheinlicher erscheint es, daß das Material für die Zellhaut in der Form einer chemisch verwandten Substanz im Protoplasma vorhanden, erst bei der Entstehung der Membran der Umwandlung in die Cellulose unterliegt. Chemisch der Cellulose nahestehende Stoffe finden sich im Protoplasma aller

Pflanzen. Die Stärke, die Glykosen, der Rohrzucker, das Inulin sind Kohlehydrate und die Benutzung dieser Materialien für den Aufbau der Zellhäute anzunehmen, liegt in anbetracht von Thatsachen näher, als rein theoretisch-chemische Diskussionen zu ergeben scheinen. Die Cellulose läßt sich freilich durch Säuren leicht in Zucker zurückführen, allein diese Methode erlaubt keinen Schluß auf die Vorgänge in der Pflanze. Es giebt aber physiologische Vorgänge, bei denen die Umwandlung von Glykose in Cellulose und umgekehrt beobachtet werden kann. Bei der Keimung der Samen werden die Reservestoffe, welche dem Keim im Samen zu Gebote stehen, aufgezehrt. Gemeiniglich sind Stärke, Fett und Eiweißstoffe als Nährmaterial im Endosperm aufgespeichert, in einzelnen Fällen aber, z. B. im Dattelkern oder im Samen der im tropischen Südamerika einheimischen Palme Phytelephas*) ist der Reservestoff des Endosperms Cellulose. Bei der Keimung der Dattel wandelt sich die Cellulose, deren unmittelbarer Verbrauch wegen ihrer Unlöslichkeit in Wasser unmöglich ist, in Glykose um. Der Zucker wandert in die junge Keimpflanze und dies Material wird für die Bildung neuer Organe, neuer Zellen und Zellwände verbraucht. Die Thatsächlichkeit der Umwandlung von Cellulose in Zucker und von Zucker wieder in Cellulose, ist hier ganz augenfällig und von theoretischen Betrachtungen ganz unabhängig.

Es ist ferner eine ganz allgemeine Erscheinung, daß in der Nähe der Orte, wo die lebhafte Bildung von neuen Zellwänden stattfindet, also an der Wurzelspitze und an den Sproßvegetationspunkten die Stärke in Menge angehäuft wird.

Das embryonale Gewebe der Vegetationspunkte ist der Herd der Zellenerzeugung, hier geht die Fächerung durch Zellhäute auf das Lebhafteste vor sich. Mit dieser Thatsache stimmt

*) Das knochenharte Endosperm dieser Samen, die als Stein- oder Elfenbeinnuß in den Handel kommen, wird als vegetabilisches Elfenbein zur Knopffabrikation ꝛc. benutzt.

das Verschwinden der Stärke an diesen Orten. Der Verbrauch von Kohlehydrat ist in den Vegetationspunkten ein so intensiver, daß bis in die Nähe derselben der Stärkezustrom nachweisbar ist, in ihnen selbst aber die Spur aufhört. Wozu sollten diese Stärkemengen, die immerfort aus den Blättern in die Vegetationspunkte wandern, verbraucht werden, wenn nicht zur Cellulosebildung. Man darf natürlich auch hier die Sache nicht grob sinnlich auffassen und annehmen, daß die Stärkekörner unmittelbar in Zellstoff umgewandelt würden. Die Stärke wird ja in keinem Falle direkt zu irgend welchen Ernährungszwecken verwendet. Sie erleidet vorher immer Umwandlungen, meistens in Zucker. Es ist aber wohl denkbar, daß bei der Entstehung der Zellhaut das Stärkematerial noch weitergehende Umwandlungen erleidet, nichtsdestoweniger bliebe sie immer das Material zur Bildung der Zellhäute.

Ganz ebenso handgreiflich ist die Cellulosebildung auf Kosten anderer Kohlehydrate, wie des Rohrzuckers und des Inulins. Bei dem Austreiben inulinhaltiger Knollen, z. B. von Georginenknollen oder rohrzuckerhaltiger Wurzeln, wie der Runkelrübe haben die Keimtriebe keine andere Bezugsquelle für Nährstoffe als die genannten Reservestoffbehälter. Die Stärke, die sich in den Keimtrieben anhäuft und unter Umwandlung von Glykose an den Orten der Zellbildung verschwindet, kann nur aus dem Rohrzucker und Inulin entstanden sein.

Von ganz besonderem Interesse aber erscheint, daß auch die Fette sich als Baustoffe für die Zellhäute den Kohlehydraten anschließen. Das fette Öl, welches wie die technische Verwertung lehrt, die Samen vieler Pflanzen enthalten, ist ein Reservestoff, bestimmt, dem Keim als Nahrung zu dienen. Bei der Keimung findet eine Umwandlung des Fettes in Glykose und später in Stärke statt, die dann wieder beim Zellwachstum verbraucht wird. So vermindert sich die Menge fetten Öles die ein Kürbissamen enthält, während der Keimung auf ca. $^1/_{10}$. 1000 Keimpflanzen enthalten nach vollendetem Keimstadium nur noch 12,98

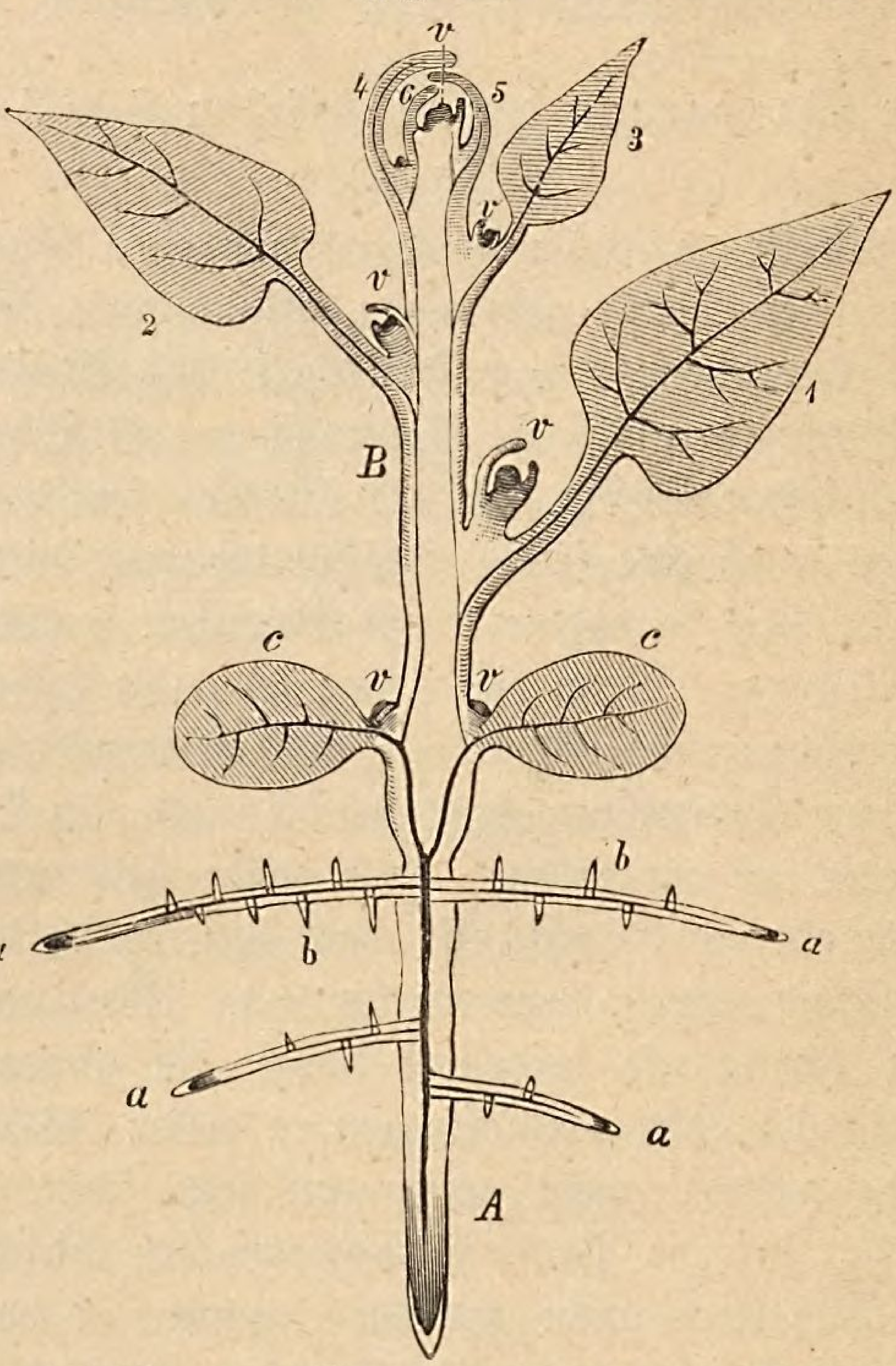
fettes Öl, während die ruhenden Keime der 1000 Samen 106,65 enthielten. Das fette Öl ist in Kohlehydrate umgewandelt worden, eine Thatsache, die ganz besonders die Eigenartigkeit der physiologisch-chemischen Prozesse charakterisiert.

2. Die Wanderung der plastischen Stoffe in der Pflanze.

Mehrfach ist im letzten Abschnitt von einer Wanderung des Zuckers, und der Stärke gesprochen, also vorausgesetzt worden, daß in ähnlicher Weise, wie beispielsweise das Wasser und mit ihm die Nährsalze, auch die Baustoffe der Gewebe, die sogenannten plastischen Stoffe, weitere Strecken fortbewegt werden. In der That muß eine solche Stoffwanderung stattfinden und es bedarf für diese Annahme keines Beweises, sondern nur einer kurzen Überlegung. Wenn ein Same keimt, so finden sich bald dieselben Stoffe, welche er enthielt in der Keimpflanze, in dem Maße als die Keimpflanze heranwächst und ihre Organe ausbildet, entleert sich der Same. Wie wäre das denkbar, wenn nicht die Stärke, die Eiweißstoffe, das Fett, welches der Same enthält beweglich wären, wandern könnten. Überhaupt wird eine Wanderung der Stoffe gefordert durch die allgemeine Beobachtung, daß die Pflanzensubstanzen in vielen Fällen dort, wo sie gefunden werden, nicht entstanden sein können. Nur die Blätter allein sind die Produktionsstätten der Stärke und doch findet man Stärke in allen anderen Organen, in den Wurzeln, in Blüten und Früchten; in allen Geweben, im farblosen Parenchym wie im Holz. Die unterirdische Kartoffelknolle steckt voll von Stärke, sie kann dieselbe unmöglich selbst erzeugt haben, denn nur chlorophyllhaltige Gewebe sind dazu imstande und die Kartoffel besitzt kein Chlorophyll. Es bleibt nichts übrig, als daß die Stärkemengen den weiten Weg aus den Blättern des Kartoffelkrautes bis hinab in die Knolle zurückgelegt haben. So ist es in der That, und noch viele Beispiele ließen sich anführen, die eine Stoffwanderung selbstverständlich erscheinen lassen.

Nach allen Richtungen in der Pflanze muß eine Bewegung der Stoffe stattfinden können, denn überall wo lebendes Zellge-

Fig. 45.



Schema einer dicotylen Pflanze. A) Wurzel mit Nebenwurzeln. B) Sproß mit Blättern. c) Keimblätter. v) Sproßvegetationspunkte welche die Blätter erzeugen. 1 2 3—6 junge und ältere Blätter, welche vom Vegetationspunkt an der Spitze allmählich gebildet wurden. In der Achsel jedes Blattes entstehen ebenfalls Vegetationspunkte, welche später zu Seitenzweigen der Pflanze heranwachsen. a) Wurzelvegetationspunkte. Alle Vegetationspunkte sind schwarz, die heller schraffierten Teile enthalten Chlorophyll. Chlorophyllloses Gewebe ist weiß. Die Längslinien im Sproß, welche auch in die Blätter ausbiegen sind die Gefäßbündel. Unterhalb der Keimblätter vereinigen sich die Gefäßbündel und bilden in der Wurzel den zentralen Gefäßbündelzylinder.

webe vorhanden ist, findet ein Stoffverbrauch statt, welcher neue Zufuhr verlangt. Dennoch wird die Hauptmenge der Eiweißstoffe

und Kohlehydrate weiter geführt, der Strom passiert große Strecken um ganz bestimmten Orten als Endziel zuzufließen, den Orten, die eines intensiveren Zuflusses von Nährstoffen bedürfen, also den Vegetationspunkten, wo neue Organe entstehen oder den Reservestoffbehältern, wo Stoffe in Menge abgelagert werden.

Wenden wir uns dieser Wanderung selbst zu, so haben wir nicht minder wie beim Wasser nach den Wegen zu fragen, auf denen der Transport der plastischen Stoffe stattfinden kann, Die Pflanze besitzt kein System von Gefäßen für die Zirkulation, wie die Blutgefäße des tierischen Körpers. Nur wenige Gewebeelemente im Pflanzenkörper stellen überhaupt offene Röhren dar und wo solche Röhren vorhanden sind, dienen sie häufig nachgewiesenermaßen gar nicht der Stoffleitung, wofür als Beispiel die Holzgefäße dienen. Die größte Masse der Gewebe besteht aus vollkommen geschlossenen Zellen, wodurch die Aufgabe, sich von der Stoffwanderung Rechenschaft zu geben, eine schwierigere wird. Drei Gewebeformen sind es nur, welche den Körper der höhern Pflanze zusammensetzen, das Hautgewebe, die Gefäßbündel und das wesentlich aus parenchymatischen Zellen gebildete Grundgewebe. Von diesen kann man das Hautgewebe ganz ausschließen, wo es sich um die Leitung der Stoffe handelt. Die Oberhaut ist ein Schutzgewebe und wenn sich selbstverständlich auch in ihren Zellen Eiweißstoffe und Kohlehydrate bewegen, um die Oberhaut zu ernähren, so dient diese doch nicht der Zuleitung von Stoffen zu den Organen. Gefäßbündel und Grundgewebe dagegen haben wir beide als leitende Gewebeformen anzusprechen. Das Holz der Gefäßbündel dient wie schon erörtert wesentlich dem Wassertransport. Plastische Stoffe leitet dagegen der Siebteil der Gefäßbündel. Den Inhalt der Siebröhren bildet eine eiweißhaltige, schleimige Masse, welche langsam in ihnen fortbewegt wird. Obgleich die Siebröhren mit Querplatten versehen sind, so sind es doch, da die Querplatten Löcher besitzen, im Prinzip offene Röhren, durch welche der Inhalt vor-

wärtsströmen kann. Seine Bewegung ist jedoch nicht ein einfaches Fließen, sondern wird durch einen Druck bewerkstelligt, wie schon daraus hervorgeht, daß beim Durchschneiden saftiger Stengel, z. B. eines Kürbisstengels auf dem Querschnitt größere Tropfen des Siebröhreninhaltes herausgepreßt werden. Der Druck wird durch das umgebende saftige Parenchym verursacht, welches durch seine Turgescenz eine Pressung auf die anderen Gewebe ausüben muß. In den Vegetationspunkten nimmt die Gewebespannung ab, der Druck auf die Siebröhren ist in dieser Gegend geringer und es wird sich daher von den ältern Teilen der Pflanze der Siebröhreninhalt den Knospen zu bewegen.

Obgleich die Siebröhren, wie schon früher erwähnt, häufig geringe Quantitäten sehr kleiner Stärkekörner enthalten, sind sie doch nicht als eigentliche Transportwege für die Stärke anzusehen. Die Straße für die Stärke bildet das parenchymatische Gewebe. Es ist eine deutlich erkennbare Arbeitsteilung vorhanden, indem die Siebröhren die Leitung der stickstoffhaltigen Substanz, das Parenchym den Transport der Kohlehydrate übernimmt, was natürlich nicht ausschließt, daß wie die Siebröhren kleine Menge Stärke mitnehmen, das Parenchym auch kleine Eiweißmengen nebenher mit weiter leitet. Daraus ergiebt sich, daß die Anschauungen, welche man früher über die Stoffbewegung hegte, unrichtige waren. Man stellte sich vor, daß eine Art von Bildungssaft, der alle Nährstoffe der Organe enthalte, in der Pflanze auf- und absteige, dabei an alle Verbrauchsorte Substanz abgäbe und bei seiner Fortbewegung regeneriert würde. Das war der aufsteigende und absteigende Saftstrom, von dem man auch heute wohl noch reden hört. Die Pflanzen besitzen keinen solchen zirkulierenden allgemeinen Bildungssaft. Die Baustoffe der Zellen werden einzeln und auf getrennten Bahnen an die Orte des Bedarfs geschafft. Die Stärke wandert vorzugsweise in den die Gefäßbündel umgebenden Parenchymschichten und strömt auf diesem Wege den Orten zu, wo junge Organe in lebhaftem Wachstum begriffen sind. Man könnte in dem Aus-

druck „wandernde Stärke“ einen Widerspruch erblicken, die Stärke ist ein fester Körper und eine Wanderung durch die vollkommen geschlossenen Parenchymzellen ohne weiteres gar nicht möglich. Die Stärke erleidet nun thatsächlich, ehe sie von Zelle zu Zelle treten kann, eine Umwandlung in Glukose, aber die Glukose wird sogleich nach ihrem Durchtritt durch die Zellmembran wieder in Stärke zurückverwandelt, der wandernde Zucker wird also abwechselnd in den Zellen als Stärke niedergeschlagen und diese wieder in Zucker verwandelt, so daß man wohl von einer „Wanderung der Stärke“ reden kann. Solche auf der Wanderung begriffene oder mit einem kurzen Ausdruck bezeichnet, „transitorische Stärke“, ist immer äußerst kleinkörnig und unterscheidet sich dadurch von den großen, wohlgeformten, ruhenden Stärkekörnern in den Reservestoffbehältern, dem Samen, Knollen, Rhizomen. In den Fällen, wo anstatt der Stärke andere Kohlehydrate, z. B. Rohrzucker oder Inulin das Nährmaterial bilden, nehmen diese denselben Weg, wie die Stärke durchs Parenchym.

Die bewegenden Kräfte, welche beim Transport der Kohlehydrate durch die geschlossenen Parenchymzellen wirksam werden, sind Attraktionskräfte, welche das Protoplasma auf die Stoffe ausübt. Die gelösten Kohlehydrate treten aus einer Zelle in die andere, durch die Membran und durch die Hautschicht des Protoplasma, das die Zellwand bekleidet, hindurch. Man kann aber diese Vorgänge nicht ohne weiteres mit der gewöhnlichen Diffusion vergleichen. Bei der Hydrodiffusion handelt es sich um Austausch von Substanz gegen Wasser und in einen Diosmometer befinden sich nach Verlauf einiger Zeit gelöste Substanzen zu beiden Seiten der Membran. Bei der lebenden Zelle ist es jedoch fraglich, ob dieselbe im Moment der Aufnahme von Stoffen auch ein bestimmtes Äquivalent wieder abgiebt, sei dies auch nur Wasser. Allerdings läßt sich lebenden Zellen dadurch, daß man Pflanzenteile in eine konzentrirte Salzlösung, z. B. Kalisalpeter bringt, Wasser entziehen. Feste Stoffe, selbst wenn sie sich in Lösung befinden, hält die lebende Zelle jedoch energisch

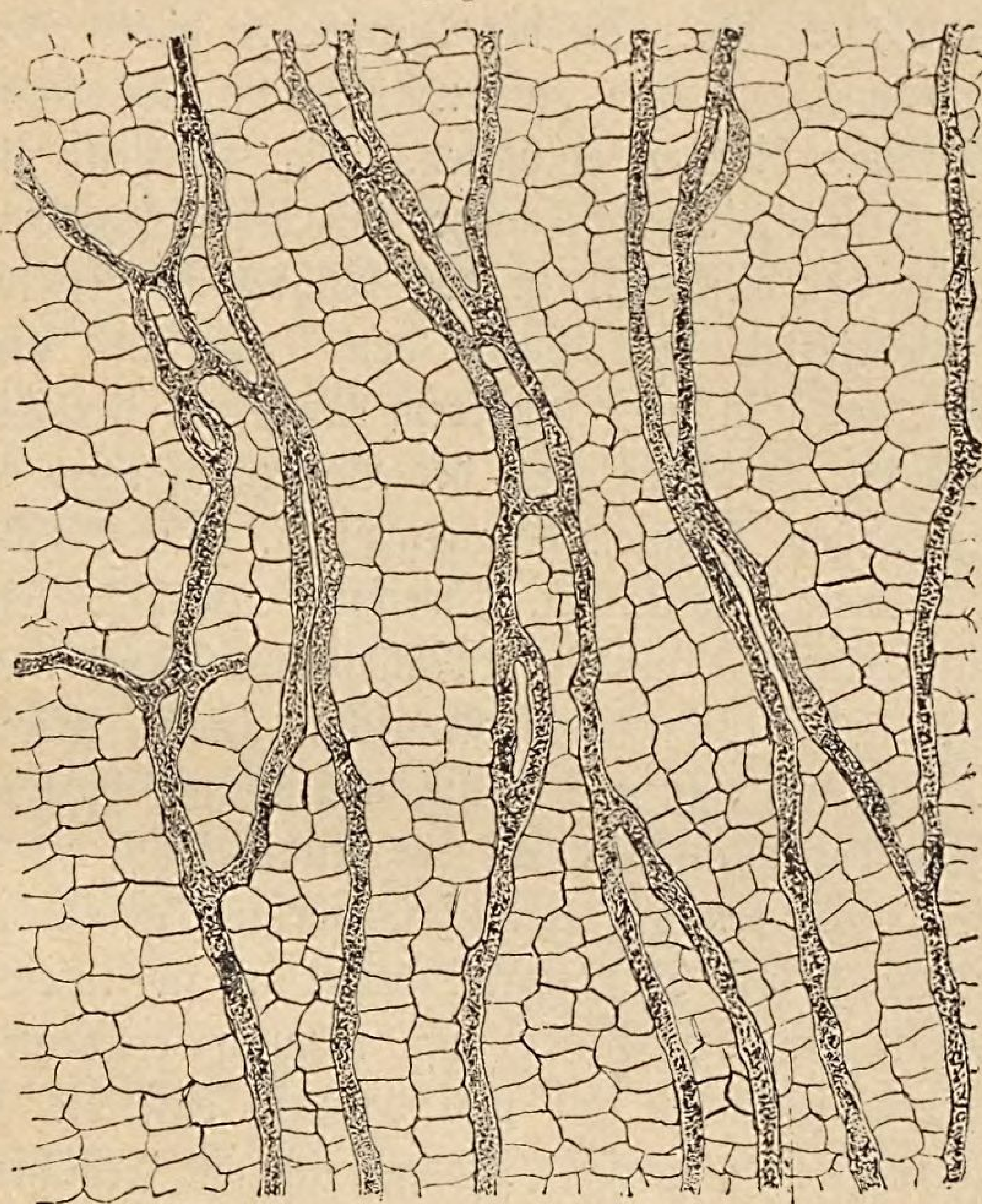
fest. Legt man z. B. Scheiben der rothen Rübe in kaltes Wasser, so bleibt dasselbe farblos, der Farbstoff geht nicht durch Diffusion aus den Zellen heraus. Dies tritt erst ein, wenn die Zellen etwa durch Kochen der Scheiben getötet sind. Erst nach dem Kochen diffundiert der rote Farbestoff aus den getöteten Zellen und färbt das umgebende Wasser rot. Die Diffusion erscheint also nicht ausreichend, die Vorgänge in der lebenden Zelle zu erklären. Wohl hat aber die Stoffaufnahme durch die Zelle eine gewisse äußere Ähnlichkeit mit den osmotischen Vorgängen, denn es handelt sich um eine Attraktion von Stoffen, die der von einer Membran umhüllte Zellinhalt ausübt. Man muß annehmen, daß der Zellinhalt nur bis zu einer bestimmten Sättigung die Anziehungskräfte äußert, dann aber durch eine Änderung dieser Kapazität, welche z. B. dadurch eintritt, daß an benachbarte Zellen Stoffe abgegeben werden, aufs neue die Attraktionskraft einsetzt, um das gestörte Gleichgewicht durch Anziehung weiterer Stoffmengen wiederherzustellen. Das Zellgewebe der Pflanzen bildet ein zusammenhängendes Ganzes und eine Gleichgewichtsstörung in einer Zelle wird sich nicht nur auf die benachbarten, sondern vermittels dieser auf immer weitere Strecken fortpflanzen.

Findet in der Wurzel durch Bildung von Zellwänden ein Verbrauch von Kohlehydraten statt, so pflanzt sich diese Störung des Gleichgewichtes nach oben fort und bewirkt einen Strom von Glukoselösung dem Verbrauchsorte zu. Ebenso wie durch eine Abgabe von Stoffen an die Umgebung muß voraussichtlich die Sättigungskapazität des Zellinhaltes eine Änderung erleiden, wenn sich ein gelöster Stoff in fester Form in der Zelle niederschlägt. Mit dieser Annahme bekommt dann die jedesmal nach dem Eintreten in die Zelle stattfindende Rückverwandlung des Traubenzuckers in Stärke einen Sinn. Die Bildung fester Stärkekörner ändert das Sättigungsvermögen des Zellinhaltes und wird so einen neuen Zufluß von Zucker veranlassen.

Man übertrage nun diese Vorgänge auf ganze Organe, auf

die Vegetationspunkte, wo immerfort bei der Zellbildung gelöste Stoffe als Gewebebildner unlöslich gemacht werden, so ergiebt sich anschaulich, daß die Bewegung der Stoffe den wachsenden Organen zugewendet sein muß. Die Vegetationspunkte und wachsenden Teile bilden aktive Centren, welche auf die Stoffe anziehend wirken, und es wäre richtiger, anstatt von einem Zufluß von Stoffen

Fig. 46.



Milchröhren aus der Schwarzwurzel. (Scorzonera hispanica.)

zu den Organen, von einer Anziehung der Baustoffe durch die Organe zu sprechen, denn in der That muß man sich bei einer wachsenden Knospe vorstellen, daß durch das Wachstum die Eiweißstoffe und Kohlehydrate von der Knospe angezogen werden und nicht umgekehrt, daß durch einen Zufluß von Stoffen das Wachstum ausgelöst wird.

Bei einer Anzahl Pflanzen kommt für die Bewegung von Stoffen noch ein weiteres Gewebeelement in Betracht, die Milchsaftgefäße, die aber nur eine Eigentümlichkeit einiger Familien und Gattungen sind, z. B. der Wolfsmilcharten, der Arctocarpeen (unter denen der Feigenbaum), der Kompositen u. s. w. Verletzt man eine solche Pflanze durch einen Schnitt in Stengel oder Blätter, so quillt ein in den meisten Fällen weißer Saft vom Aussehen der Milch aus der Wunde. In der Pflanze ist dieser Milchsaft in einem weitverzweigten, ihren ganzen Körper durchziehenden System kommunizierender Röhren enthalten. Fig. 46 stellt ein kleines Stück eines solchen Milchröhrennetzes aus der Schwarzwurzel dar. Bewegt wird der Milchsaft in den Röhren in derselben Weise wie der Siebröhreninhalt durch den Druck des umgebenden Parenchyms; denn in noch stärkerem Maße als der Siebröhreninhalt wird der Milchsaft nach der Verletzung einer milchenden Pflanze in großen Tropfen herausgepreßt. Die Milchsäfte enthalten verschiedene Quantitäten Eiweißstoffe, Kohlehydrate, Fette, also eine ganze Anzahl brauchbarer Nährstoffe. Daneben allerdings Endprodukte des Stoffwechsels, Kautschuk, Harze, Alkaloide und Fermente. Obgleich man noch völlig im Unklaren darüber ist, ob die Emulsion der Milchsäfte als ein Bildungssaft zu betrachten sei, der die Organe ernährt, so muß immerhin das Vorhandensein brauchbarer Nährstoffe die Aufmerksamkeit auf sie lenken und seine Bedeutsamkeit für die Ernährung möglich erscheinen lassen. Zweifel daran gründen sich nur darauf, daß die Milchsäfte neben Nährsubstanzen größere Mengen für die Ernährung wertloser Nebenprodukte enthalten und daß die Milchröhren nur einer kleineren Anzahl Pflanzen eigentümlich sind.

Der Nachweis von Bewegungsursachen für die Stoffbewegung reicht allein noch nicht aus, um dieselbe vollständig begreiflich zu finden. Es kommen außer den bewegenden Kräften noch chemische Vorgänge ins Spiel, welche die Bewegung der Stoffe zum Teil erst ermöglichen, die Stoffe aber außerdem erst in einen resorptionsfähigen Zustand versetzen, welcher sie zur Er-

nährung der Organe geeignet macht. Es ist einzusehen, daß z. B. die Stärke ohne einen chemischen Eingriff trotz aller Wege und trotz aller bewegenden Kräfte nicht transportabel sein kann. Die Stärke ist ein fester Körper, der unlöslich im Wasser vor dem Transport notwendig chemischen Veränderungen unterliegen muß und auch thatsächlich unterliegt, indem sie in Traubenzucker umgewandelt wird. Die Umwandlung kommt durch einen fermentativen Prozeß zustande, durch die Einwirkung eines diastatischen Fermentes auf die Stärke.

Fermente nennt man Substanzen, die im Organismus entstehend, viel weniger ihrem chemischen Charakter, als ihren äußerst merkwürdigen und rätselhaften Wirkungen nach bekannt sind. Möglicherweise den Eiweißstoffen verwandt ist ihre Menge so gering, daß eine Isolierung schon deshalb, abgesehen von anderen Schwierigkeiten nur in einzelnen Fällen gelingt. In einen seltsamen Kontrast mit der kleinen Quantität, in welcher sie sich finden, steht ihre Fähigkeit bei der Einwirkung auf bestimmte chemische Verbindungen, diese in fast unbegrenzter Menge in einfachere Verbindungen zu spalten. Manche Fermente bewirken eine sehr weitgehende Zerlegung der Substanzen, mit denen sie in Kontakt kommen. So z. B. zerfällt eine im chemischen System zusammengehörige Gruppe von Stoffen, die Glykoside, sehr leicht durch Fermentwirkung und zwar ist bei dem Zerfalle der Glykoside das eine Spaltungsprodukt stets Zucker, während je nach der Natur der betreffenden Glykoside die übrigen Produkte mannigfacher Art sein können. Um einige Beispiele für das Gesagte anzuführen, wird das Amygdalin, ein Glykosid, welches in den bitteren Mandeln vorhanden ist, durch ein daneben im Mandelsamen enthaltenes Ferment, das Emulsin, in Blausäure, Bittermandelöl und Zucker zerspalten. Das Emulsin wirkt aber nicht nur auf das Glykosid der Mandeln, sondern zerlegt beispielsweise ein anderes, in Rinde und Blättern von Weiden- und Pappelarten sich findendes Glykosid, das Salicin in Zucker und Saligenin. Von Interesse ist die Wirkung des

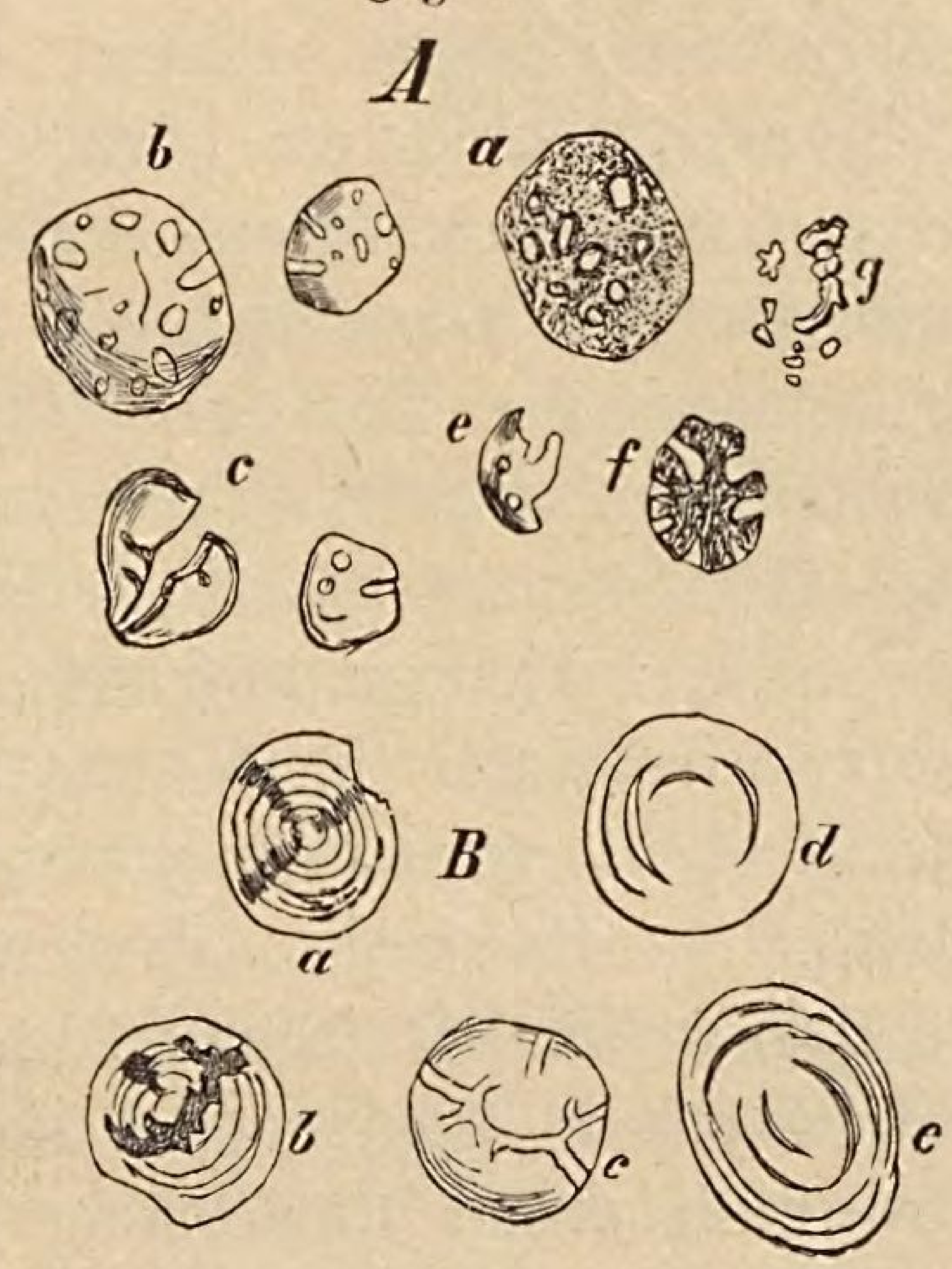
Myrosins, eines Fermentes, welches in den Samen des schwarzen Senfs enthalten ist. Dies wirkt auf das myronsaure Kali in den Senfsamen in der Weise, daß neben Zucker das scharf riechende Senföl und saures schwefelsaures Kalium entsteht. Es ist durchaus rätselhaft, wie die ungemein kleinen Mengen der Fermente durch bloße Berührung mit den spaltbaren Verbindungen so tiefgehende Zerlegungen zustande bringen, ohne, wie es scheint, selbst dabei eine Veränderung zu erleiden. Die angeführten Fermentwirkungen sollen nur zunächst als Beispiele dienen, ohne gerade die Bedeutung der Fermente für den Stoffwechsel zu demonstrieren. Obgleich in Pflanzensamen verlaufend, haben gerade diese Fälle doch nur eine untergeordnete physiologische Bedeutung.

Von ganz hervorragender Wichtigkeit für die Stoffwechselprozesse sind dagegen die im ganzen Pflanzenreich verbreiteten und zur Wirkung gelangenden diastatischen Fermente. Ihre Eigenschaft bethätigen sie darin, daß sie Stärke in Glykose umzuwandeln vermögen. Die Änderung des Moleküls ist also eine weniger tiefgehende als bei den oben citierten sehr weitgehende Spaltungen bewirkenden Fermenten, da Stärke und Glukose immer noch chemisch nahe verwandte Substanzen sind. In Berührung mit der Lösung eines diastatischen Fermentes werden die festen Stärkekörner angegriffen und allmählich in eine Lösung von Traubenzucker umgewandelt. Man ist über die diastatischen Fermente insofern besser orientiert, als es verhältnismäßig leicht gelingt, den Repräsentanten derselben, die Diastase, in einigermaßen reiner Form zu isolieren. Bei der Keimung der Gerste entsteht nämlich in den Gerstenkörnern ein Stärke umwandelndes Ferment, die Diastase. Dieselbe läßt sich durch Wasser oder Glycerin aus den Keimpflanzen ausziehen, und die Lösung ist imstande, beträchtliche Mengen von Stärke auch außerhalb der Pflanze umzuwandeln. Die Diastase läßt sich aber auch als fester Körper durch wiederholtes Fällen mit Alkohol, aus der Lösung gewinnen und stellt nach dem Trocknen ein feines Pulver

dar, von dem sehr kleine Mengen genügen, um größere Quantitäten gekochter Stärkelösung in Zucker überzuführen.

Weiter ausgedehnte Untersuchungen ergaben, daß Fermente von ganz gleicher Wirkung wie die Diastase der Gerste in allen Pflanzenteilen vorhanden sind, weshalb man diesen Fermenten den allgemeinen Namen der „diastatischen“ verlieh. Diastatische Fermente finden sich zuweilen in ruhenden Pflanzenorganen; im allgemeinen treten sie aber erst auf, wo ein lebhaftes Wachstum der Organe beginnt. Stärkehaltige Samen, welche keimen, Knollen, welche austreiben und Knospen, welche sich entfalten, enthalten diastatische Fermente, und die lebhafte Wirkung derselben äußert sich durch Auflösung der bedeutenden Stärkemengen, welche aus den Reservestoffbehältern in die Organe einwandern.

Fig. 47.



Stärkekörner durch diastatisches Ferment korrodiert. A) Maisstärkekörner aus dem keimenden Samen in verschiedenen Stadien der Auflösung a—f. B) Weizenstärke aus einem keimenden Weizenkorn. (Nach Sachs.)

Der Prozeß der Auflösung der Stärke bei ihrer Umwandlung in Zucker bietet ein besonderes Interesse. Die Stärkekörner werden nicht momentan durch das Ferment in Zucker verwandelt und aufgelöst, sondern es findet eine langsame Korrosion der festen Körnchen statt. Zunächst tritt bei diesem Prozeß die Schichtung der Stärkekörnchen deutlicher hervor, dann greift das Ferment tiefer ein, einzelne Partien werden gelöst, es entstehen Löcher, die sich vergrößern und mehren, und das Stärkekorn zerfällt allmählich bis zur völligen Auflösung. Zuweilen verläuft die Auflösung des Stärkekornes in etwas

anderer, eigentümlicher Weise, es bleibt nämlich nach der fast vollendeten Wirkung des Fermentes ein Rest, welcher noch die Struktureigentümlichkeiten des Stärkekornes, wie z, B. die Schichtung erkennen läßt. Dennoch ist die eigentliche Stärkesubstanz gelöst worden, das Zurückbleibende ist eine Art von zartem Skelett, welches nicht mehr die Eigenschaft des unveränderten Stärkekorns besitzt, sich mit Jod blau zu färben, sondern nur eine rötliche Färbung annimmt. Man hat aus diesen Verhältnissen den Schluß gezogen, daß das Stärkekorn aus zwei differenten Substanzen besteht, aus der Granulose, welche die eigentliche Stärkesubstanz darstellt, und aus der Stärkecellulose, die eine Art feinen Gerüstes bildet, in welcher die Granulose eingelagert ist. Der schließlichen Lösung durch das Ferment widersteht aber die Stärkecellulose so wenig, wie die übrige Masse des Stärkekornes, das ganze Stärkekorn wird schließlich gelöst.

Ist es nicht zu verkennen, daß bei der Umwandlung der Stärke in Glukose die Lösung derselben ein wichtiger Punkt ist, so ist die Fermentwirkung doch nicht allein als eine bloße Auflösung zu betrachten. Es wird durch die Umwandlung, der Stärke in Glukose jedenfalls noch etwas anderes bezweckt, als die Stärke in Lösung zu bringen. Das geht daraus hervor, daß auch andere Kohlehydrate, die schon gelöst in den Zellen vorhanden sind, wie z. B. Rohrzucker und Inulin, dennoch vor dem Verbrauch für die Organbildung ebenfalls in Glukose umgewandelt werden. Weder der Rohrzucker noch das Inulin werden unmittelbar zur Ernährung verbraucht, sondern wandeln sich in Glukose um, höchst wahrscheinlich ebenfalls unter dem Einfluß von Fermenten. Wenn es nur darauf ankäme die Stoffe in Lösung zu bringen, um sie für die Ernährung geeignet zu machen, so wäre die Umwandlung von Rohrzucker und Inulin, zweier in Wasser löslicher Stoffe, in Glukose kaum begreiflich. Es ist deshalb wohl keine Frage, daß die wesentliche Bedeutung der Fermentwirkungen im Pflanzenkörper eine ganz andere ist, daß nämlich die Stoffe durch die Fermente erst in denjenigen

Zustand übergeführt werden, in welchem sie für die Ernährung tauglich sind. Die Fermente führen die Stärke, den Rohrzucker, das Inulin aus dem passiven Zustande in eine aktive Beschaffenheit über, diese Stoffe werden, um es kurz auszudrücken, durch die Fermente für die Pflanze erst verdaulich gemacht. Bekanntlich spielen auch bei der tierischen Verdauung die Fermente eine hervorragende Rolle um die Nahrungsmittel in resorbierbare Produkte überzuführen. Außer diastatischen Fermenten in späteren Stadien der Verdauung treten bei der Eiweißverdauung im Magen die peptonisierenden Fermente in Wirksamkeit und führen die Eiweißsubstanzen in resorptionsfähige Peptone über.

Bei der großen Ähnlichkeit der tierischen und pflanzlichen Stoffwechselprozesse liegt es nahe, auch bei den Pflanzen das Vorkommen von peptonisierenden Fermenten zur Umwandlung der Eiweißsubstanzen vorauszusetzen, doch ist der Nachweis einer allgemeinen Verbreitung von peptonisierenden Fermenten im Pflanzenreich noch nicht vorhanden. Um so eklatanter sind einzelne Fälle ihres Vorkommens. So finden sich in den Sekreten der insektenfressenden Pflanzen peptonisierende Fermente von ähnlicher eiweißverdauender Kraft, wie das Pepsin des tierischen Magens, und es ist in diesem Fall auch die physiologische Bedeutung des Fermentes nicht zu verkennen. Dagegen ist das Vorkommen von eiweißverdauenden Fermenten in verschiedenen Milchsäften, z. B. im Milchsaft des Feigenbaumes und in der Milch des brasilianischen Melonenbaumes Carica Papaya, vielleicht eher ein zufälliges als daß man ihm eine Bedeutung für die Ernährung beizulegen hätte.

Ein Vorgang ist bei den eben besprochenen Prozessen noch einmal zu erwähnen, weil man ihn ebenfalls in nahe Beziehung zum Transport und zur Resorption der Eiweißstoffe gebracht hat. Es ist das Auftreten des Asparagins in den Pflanzen.*)

*) Es ist dies eine zweite Ansicht über die Bedeutung des Asparagins für die Pflanzen. Eine andere, welche das Asparagin als Bildungsmaterial für die Eiweißstoffe ansieht, wurde S. 177 mitgeteilt.

Die Kenntnis, daß bei der künstlichen Spaltung der Eiweißkörper neben anderen Produkten Asparagin gebildet wird, drängte dazu, sein Erscheinen im lebenden Pflanzenkörper ebenfalls durch den Zerfall von Eiweißkörpern in der Zelle zu erklären. Die Verbreitung des Asparagins bei den Pflanzen und der Nachweis, daß es nach seiner Entstehung, wenn nur Kohlehydrate vorhanden sind, zur Regeneration des Eiweiß verwandt wird, veranlaßte dazu in seinem abwechselnden Auftreten und Verschwinden einen Vorgang der Stoffwanderung, nämlich einen Modus zu erblicken, die schwer diffusiblen Eiweißsubstanzen transportfähig zu machen. Ähnlich, wie die wandernde Stärke abwechselnd in Zucker und feste Stärkekörner sich umwandelt, sollen die Eiweißstoffe in Faktoren zerfallen, von denen das Asparagin den einen stickstoffhaltigen darstellt und, nachdem der Transport an die Orte des Verbrauches erfolgt ist, wieder regeneriert wird. Ob es sich bei der Asparaginbildung etwa auch um eine Fermentwirkung handelt ist nicht bekannt.

Aus allem, was über die Stoffwanderung und die Resorption bei der Ernährung der Organe gesagt worden ist, geht hervor, daß jene Prozesse bei den Pflanzen viel weniger leicht zu verfolgen sind, als bei den Tieren, wo die Transportwege viel offenkundiger daliegen, wo sich in zahlreichen Organen mit speziellen Aufgaben die Stoffbildung und Umwandlung viel mehr lokalisiert und durchsichtiger wird.

Wenn in unserer vorliegenden Darstellung ganz besonders immer die höheren Pflanzen ins Auge gefaßt sind, so braucht wohl kaum ausführlicher erörtert zu werden, daß im wesentlichen die Stoffwechselprozesse bei niederen Pflanzen, namentlich bei Algen, Moosen ꝛc. ganz ebenso verlaufen, natürlich mit den Modifikationen, welche durch die einfachere Organisation jener Pflanzen selbstverständlich eintreten müssen.

Es wird nicht überflüssig sein durch die Anführung einiger leicht in der Natur zu beobachtender Thatsachen, das Bild der Stoffwanderung noch etwas zu beleben. Wo irgendwo in der Natur das Leben erwacht, wo ein Same keimt, eine Zwiebel

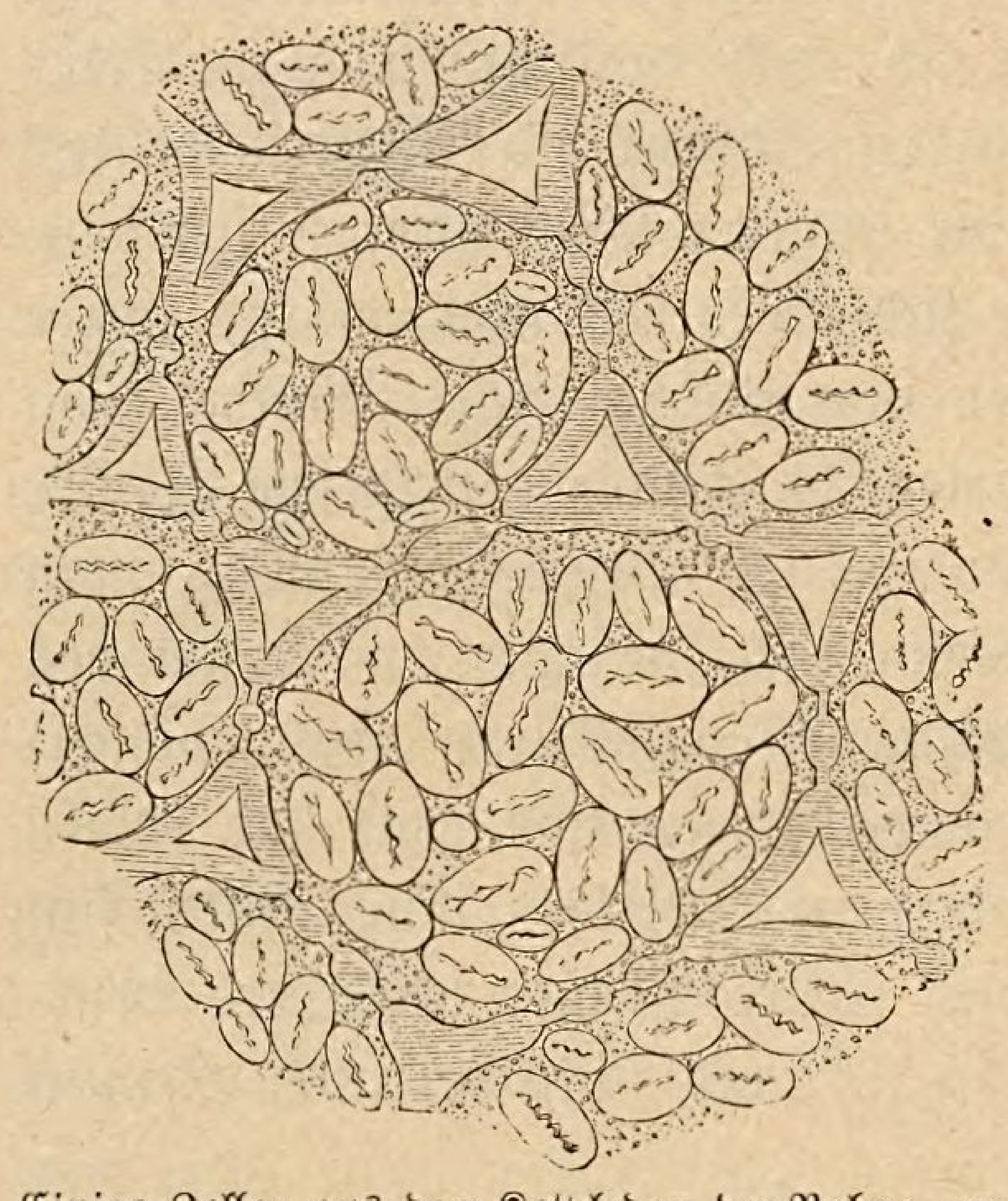
Triebe macht, eine Knospe sich öffnet, da werden alle geschilderten Vorgänge ausgelöst, die Reaktivierung ruhender Stoffe und ihre Fortbewegung setzt mit Lebhaftigkeit ein.

Eines der lehrreichsten Beispiele wie die Stoffe in Bewegung geraten, ist die Keimung der Samen und es lohnt sich schon deshalb dieselbe zu besprechen, weil die Keimung, da sie gewöhnlich unter dem Boden stattfindet, der Beachtung fast ganz entgeht. Ein Same enthält, umschlossen von der Samenschale den Keim. Bei chlorophyllhaltigen Pflanzen ist der Keim ein, wenn auch noch unentwickeltes, so doch vollständig gegliedertes Pflänzchen, ausgerüstet mit Wurzel, Knospe und Blättern, welches im Samen solange ruht, bis die äußeren Bedingungen für seine Entwickelung sich finden. Um sich einen Pflanzenembryo anzusehen, braucht man nur Samen von Bohne, Eiche, Mandel, von der Roßkastanie oder Kürbissamen 24 Stunden in kaltem Wasser quellen zu lassen und die Samenschale abzuziehen. Was man in der Hand behält, ist der Keim, der den ganzen Raum des Samens mit seinen dicken, fleischigen Keimblättern (Kotyledonen) ausfüllte. Die beiden Kotyledonen liegen lose, wie die beiden Hälften eines Buches aufeinander und zwischen ihnen findet sich Knospe und Wurzel des Keimes. Alles ist hier besonders deutlich, weil der Embryo sehr groß ist, was nicht bei allen Samen der Fall ist.

Aus dem Keim soll sich eine Pflanze entwickeln, die erwachsen eine selbständige Existenz führen wird, aber bis die Organe der Ernährung ausgebildet sind, ist der Keim abhängig, er muß selbst ernährt werden. Die Erfüllung dieser Notwendigkeit ist vorgesehen, jeder Same enthält Quantitäten von Nährmaterial, welche ausreichen die erste Entwickelung der Keimpflanze zu unterhalten. Stärke, Fette, Eiweißstoffe und Salze sind im Samen als Reservestoffe aufgespeichert und decken den Bedarf an Baustoffen für die Bildung der ersten Blätter und Wurzeln. Bei vielen Samen z. B. den oben aufgezählten, der Bohne u. s. w. sind die Reservestoffe in den fleischigen Keim-

blättern selbst niedergelegt. Diese Quantitäten sind nicht gering, was ja am besten daraus hervorgeht, daß Bohnen, Erbsen u. s. w. als wertvolle Nahrungsmittel von Menschen konsumiert werden. Es sind die fleischigen mit Reservestoffen erfüllten Kotyledonen, welche wir in den Bohnen, Erbsen, Mandeln verspeisen. Ein mikroskopischer Schnitt durch die Keimblätter der Bohne demonstriert diesen Reichtum an Nährstoffen; die großen Zellen sind vollgepfropft von großen ovalen Stärkekörnern, welche in einer kleinkörnigen Masse von Proteïnsubstanzen eingebettet liegen. Unsere Abbildung umfaßt nur ein paar Zellen, aus Millionen solcher mit Stärke und Eiweiß erfüllten Zellen besteht aber ein Bohnenkeimblatt und repräsentiert also ein ganz beträchtliches Lager von Nährstoffen, die dem Keim zu gebote stehen. Feuchtigkeit und Luftzutritt sind die beiden ersten Bedingungen, welche für die Keimung eines Samens erforderlich sind. Pflanzt man eine Gartenbohne in die Erde, so nimmt der Same Wasser auf, er quillt und die schwellenden Kotyledonen sprengen die Samenschale. Dem Keim ist der Ausweg geöffnet und es wird zunächst die Wurzel herausgeschoben, welche senkrecht abwärts wachsend die Keimpflanze befestigt und die Zuführung von Wasser besorgt. (Fig. 49 A.)

Fig. 48.



Einige Zellen aus dem Kotyledon der Bohne, angefüllt mit Reservestoffen, große Stärkekörner und kleinkörnige Eiweißsubstanz.

Jetzt erhebt sich die Knospe und wird langsam zwischen den dicken Kotyledonen, die im Boden stecken bleiben, hervorgezogen (Fig. 49 B bei d). Der junge Keimstengel tritt mit nickender

überhängender Krümmung hervor, was jedenfalls das Durchbrechen der bedeckenden Bodenschicht erleichtert. Am Licht streckt sich der Keimstengel gerade und breitet bald seine ersten Blätter aus, um nun selbstthätig das Ernährungsgeschäft zu übernehmen.

Fig. 49 C.

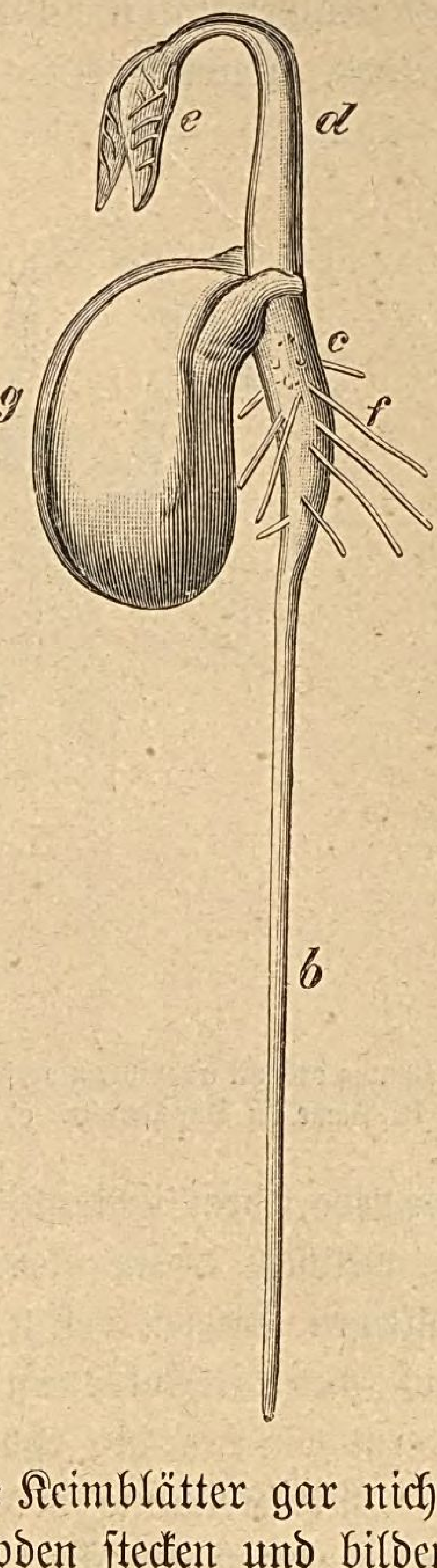
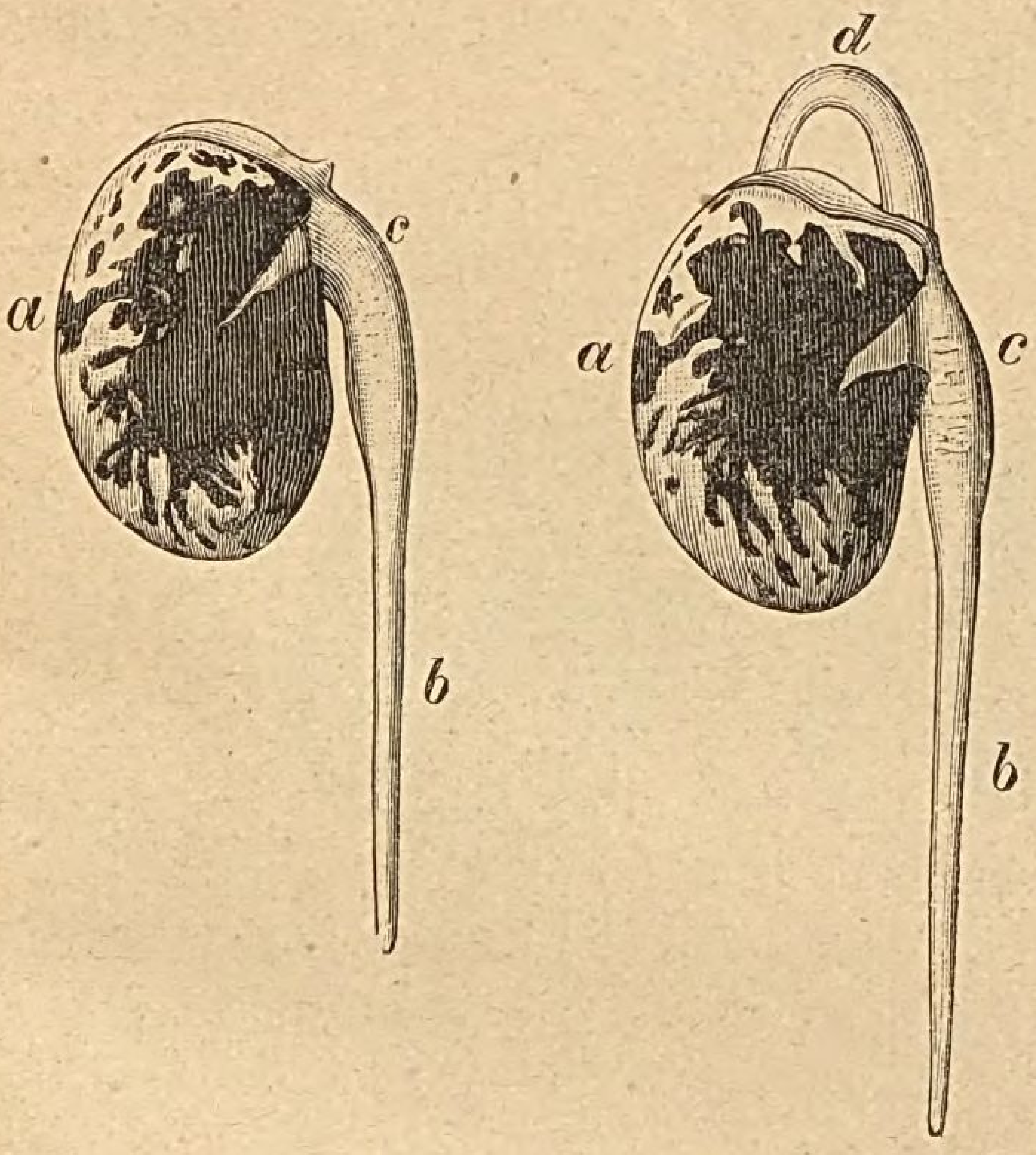


Fig. 49 A u. B.



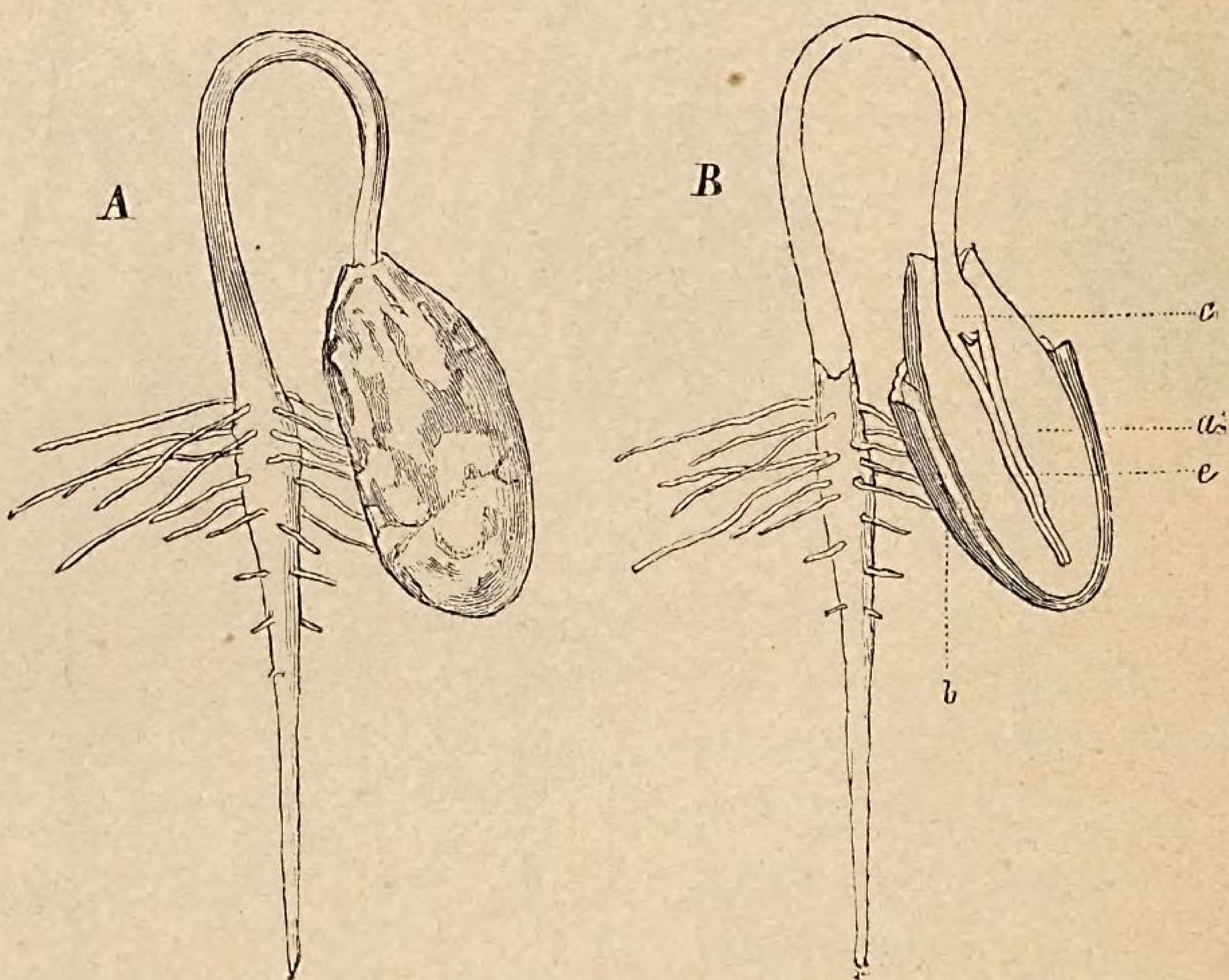
Keimung einer Gartenbohne A u. B. a) Samenschale welche die Kotyledonen noch umschließt, aber schon gesprengt ist. b) Wurzel. d) Stengel. c) hypokotyles Glied an welchem später reichliche Wurzeln entspringen. C) g die von der Schale befreiten Kotyledonen. d) Keimstengel mit den jungen Blättern. b) Wurzel. f) dem hypokotylen Gliede entsprungene Wurzeln.

In Fällen wie bei der Bohne werden die Keimblätter gar nicht über die Erde gebracht; sie bleiben im Boden stecken und bilden ein seitliches Anhängsel an der Keimpflanze (Fig. 49 C). Die in den Kotyledonen aufgespeicherten Reservestoffe werden in die

heranwachsende Pflanze übergeführt, die Kotyledonen werden entleert, die Stärke wandert hinauf in den Keimstengel zum Verbrauch für die entstehenden Organe.

Nicht in allen Pflanzensamen liegen die Verhältnisse so wie bei der Bohne, der Mandel und ähnlichen. Die Reservestoffe des Samens sind nicht immer in den Keimblättern selbst niedergelegt, sondern sind bei vielen Samen in einem besonderen

Fig. 50 A u. B.



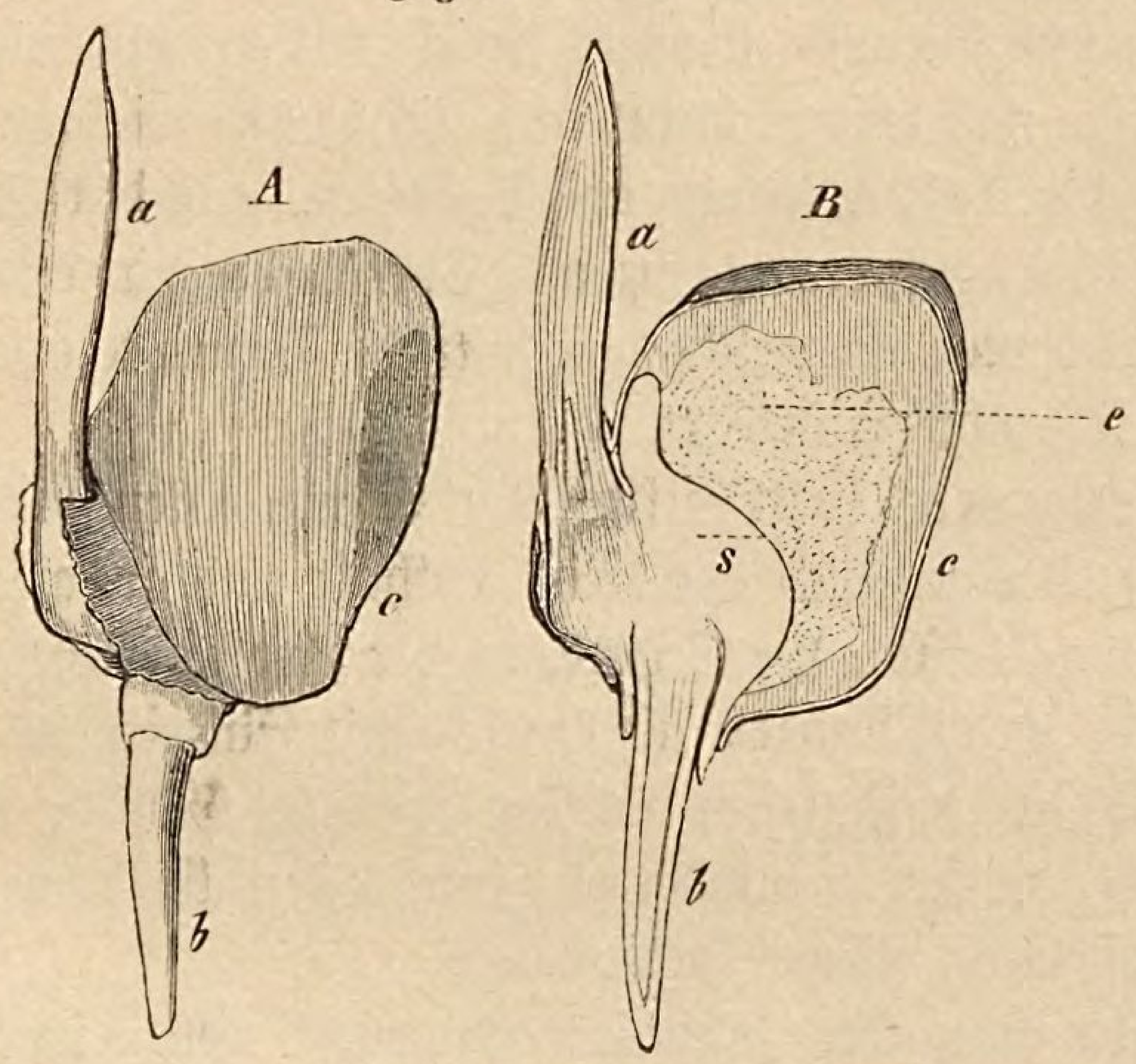
Keimung des mit Endosperm versehenen Samens von Ricinus. A) Ansicht des ganzen Samens. B) Same im Durchschnitt. e) Keimblätter. c) Knospe. a) Endosperm. b) Samenschale.

Gewebe, dem Endosperm enthalten, welches den Keim umgiebt, in welchem dieser gleichsam eingebettet liegt. Solche endospermhaltigen Samen besitzt z. B. der Ricinus, der Kaffee, die Paranuß und die Kokosnuß und bei diesen letzteren ist es das Endosperm, welches als eßbarer „Kern“ genossen wird.

Die Keimung verläuft im wesentlichen bei den mit Endosperm versehenen Samen ebenso wie bei den anderen. Aus dem Samen tritt zuerst die Wurzel hervor. Es gilt aber nun den Nährstoffvorrat des Endosperms zu verwerten und dies geschieht

dadurch, daß die Keimblätter zunächst im Endosperm stecken bleiben und als Aufsaugungsorgane für die Reservestoffe dienen. Ein Beispiel bietet uns die Keimung des Samens von Ricinus, welche die Abbildung Fig. 50 darstellt. In B ist der Same im Durchschnitt gezeichnet und läßt in die Lage der Keimblätter im Endosperm einen Einblick gewinnen. Die beiden flachen Keimblätter e liegen wie gewöhnlich mit ihren Flächen aufeinander, die Knospe c zwischen sich nehmend. a ist das Endosperm, mit Eiweiß-

Fig. 51 A u. B.



Keimung des Maiskorns. a) Knospe. b) Wurzel. e) Endosperm. s) das Saugorgan, Schildchen oder scutellum.

stoffen und Fett angefüllt. Die Keimblätter e beginnen nun ihre Thätigkeit. Es werden Fermente von ihnen in das Endosperm ausgeschieden, welche die Reaktivierung der Reservestoffe ins Werk setzen. Die Keimblätter nehmen die Produkte auf und das ganze Endosperm wird einfach ausgesogen, so daß schließlich die leere Samenschale (b) übrig bleibt. Damit ist die erste Thätigkeit der Keimblätter zu Ende, sie werden aus der leeren Schale herausgezogen und treten über den Boden an das Licht, wo sie sich entfalten und als die ersten grünen Blätter der jungen

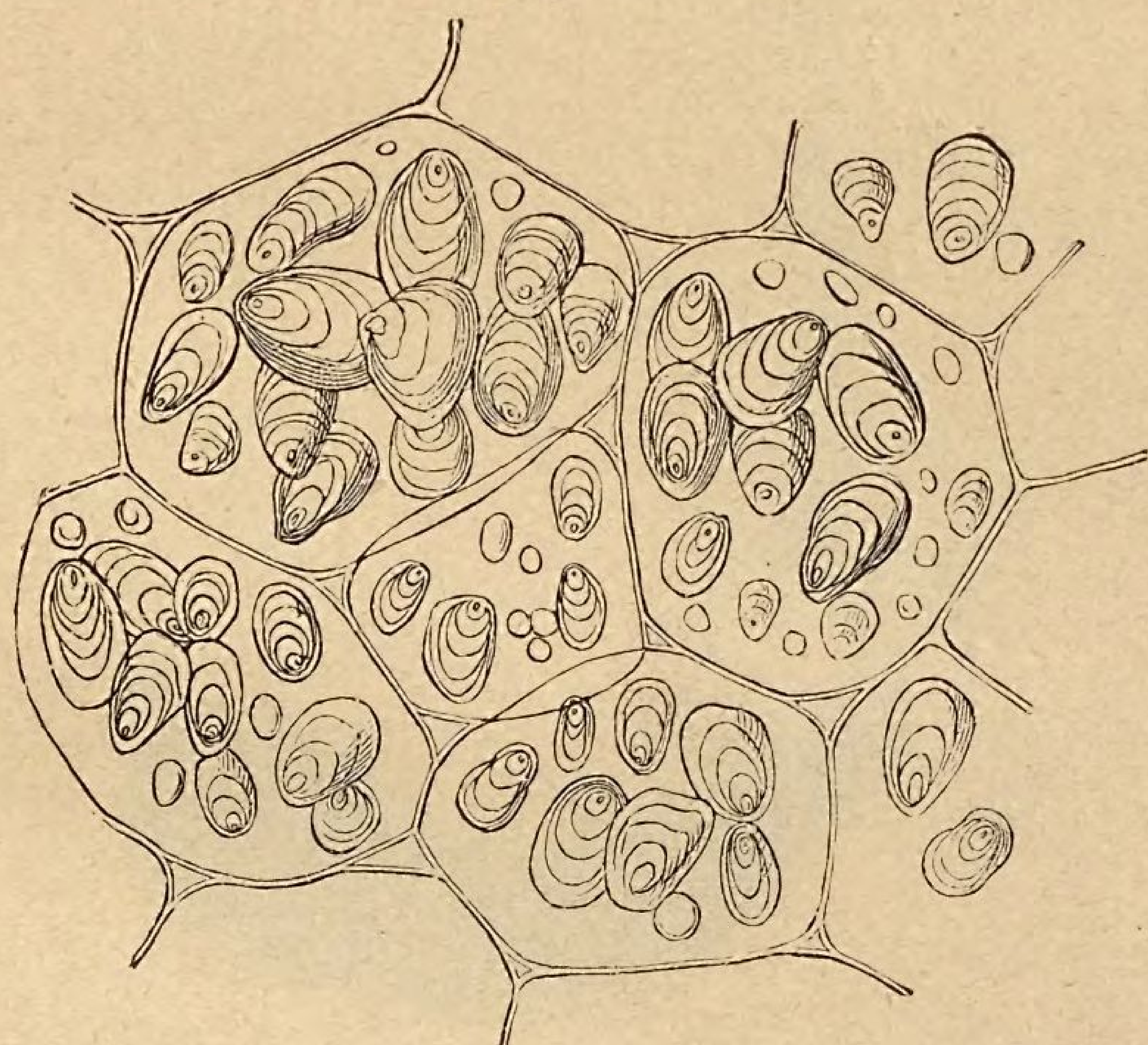
Pflanze erscheinen. Bei der Keimung des Getreidesamens findet noch ein anderer Modus der Resorption des Endosperms statt. Der Embryo ist nämlich mit einem besonderen Saugorgan begabt, welches in der Form eines Schildes mit dem Keim seitlich verbunden ist. Ein keimendes Maiskorn bietet im Durchschnitt daher ein eigenartiges Bild dar. Man vergleiche die Fig. 51 B. e ist das große stärkereiche Endosperm, dem der Embryo seitlich ansitzt. Im Bestreben nach dem Hervortreten aus dem Samen ihrem Geotropismus zu folgen, haben der aufwärtsstrebende Keimsproß a und die nach abwärts gerichtete Wurzel Krümmungen machen müssen und letztere bildet nun nicht mehr wie es ursprünglich war, die direkte Fortsetzung des Sprosses. s ist das Schildchen, dessen an das Endosperm grenzende Oberfläche mit einem papillösen Epithel bedeckt ist, welches diastatische Fermente ausscheidend die Stärke löst und resorbiert.

Ganz allgemein stellt also jeder Same einen Reservestoffbehälter dar, der zugleich den Keim enthält und so allen Forderungen Genüge leistet, die Erhaltung der Art zu sichern. Wenn auch tausende von Pflanzen alljährlich mit Eintritt des Winters ihren Lebenslauf abschließen müssen und zu Grunde gehen, in ihren Samen, die sie zu hunderten hinterlassen, liegt die Garantie für die Entstehung neuer Individuen.

Es giebt nun aber zahlreiche Pflanzen, welche man deshalb mehrjährige nennt, die außer dem Samen noch unterirdische Reservestoffbehälter bilden, vermittels dieser den Winter überdauern und in jedem Jahre im Frühjahre neue beblätterte Sprosse austreiben. Dahin gehören alle Gewächse, welche Knollen, Zwiebeln und sogenannte Wurzelstöcke oder Rhizome besitzen, mit welchen Namen nur verschiedene Formen desselben Dinges bezeichnet werden, denn ihrem Wesen nach sind alle diese Reservestoffbehälter unterirdische Sprosse oder Stämme. Während des Sommers, wo diese Pflanzen mit ihren grünen Blättern am Licht assimilieren und Stärke in Menge bilden, wandert immerfort die Stärke aus den Blättern durch den Stamm ab-

wärts und füllt die wachsenden Reservestoffbehälter an. So wandert die Stärke aus den Kartoffelblättern in die Knollen hinunter uud wird hier in Form der großen Körner niedergeschlagen, wodurch wieder ein neuer Zustrom ermöglicht ist. Die oberirdischen Blätter sind die Fabrikationsorte der Stärke, die Knollen die Speicher für die Aufbewahrung. Es ist daher klar, daß von dem Gedeihen der Blätter das Geraten unterirdischer Knollen unserer Kulturgewächse abhängig ist. Werden

Fig. 52.



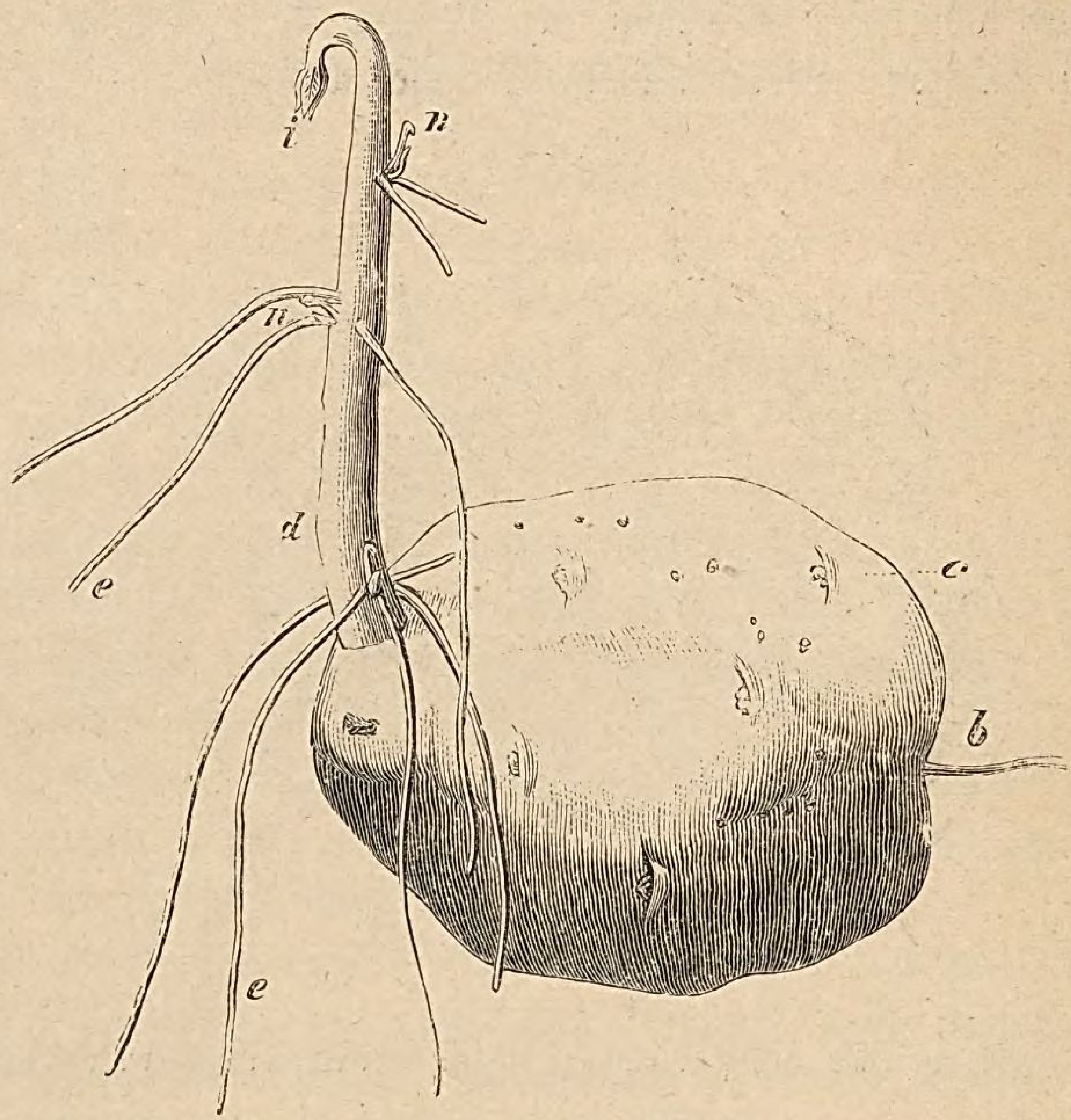
Einige Zellen aus einer Kartoffelknolle mit großen Stärkekörnern (stark vergrößert).

die Blätter des Kartoffelkrautes krank, werden sie etwa von Pilzen befallen und zerstört, so hört die Stärkebildung und damit auch die Wanderung in die Knollen auf, die Kartoffeln bleiben klein und schlecht. In guten Jahren, wo die Blätter von Gesundheit und Kraft strotzen, können sie doppelt soviel Stärke erzeugen als in einem schlechten Jahr und die Ernte großer und prächtiger Knollen ist der Beweis dafür.

Obgleich der Mensch die gewaltigen Massen von Pflanzensubstanz, die alljährlich von den Kulturpflanzen produziert wird,

für seine Zwecke verwertet, so hat selbstverständlich die Anhäufung von Stärke in den Knollen den eigentlichen Zweck in einer späteren Vegetationsperiode für das Wachstum neuer Organe verwendet zu werden. Bringen wir eine Kartoffel in geeignete Bedingungen, legen wir sie in feuchte Erde, so treibt sie Wurzeln

Fig. 53.



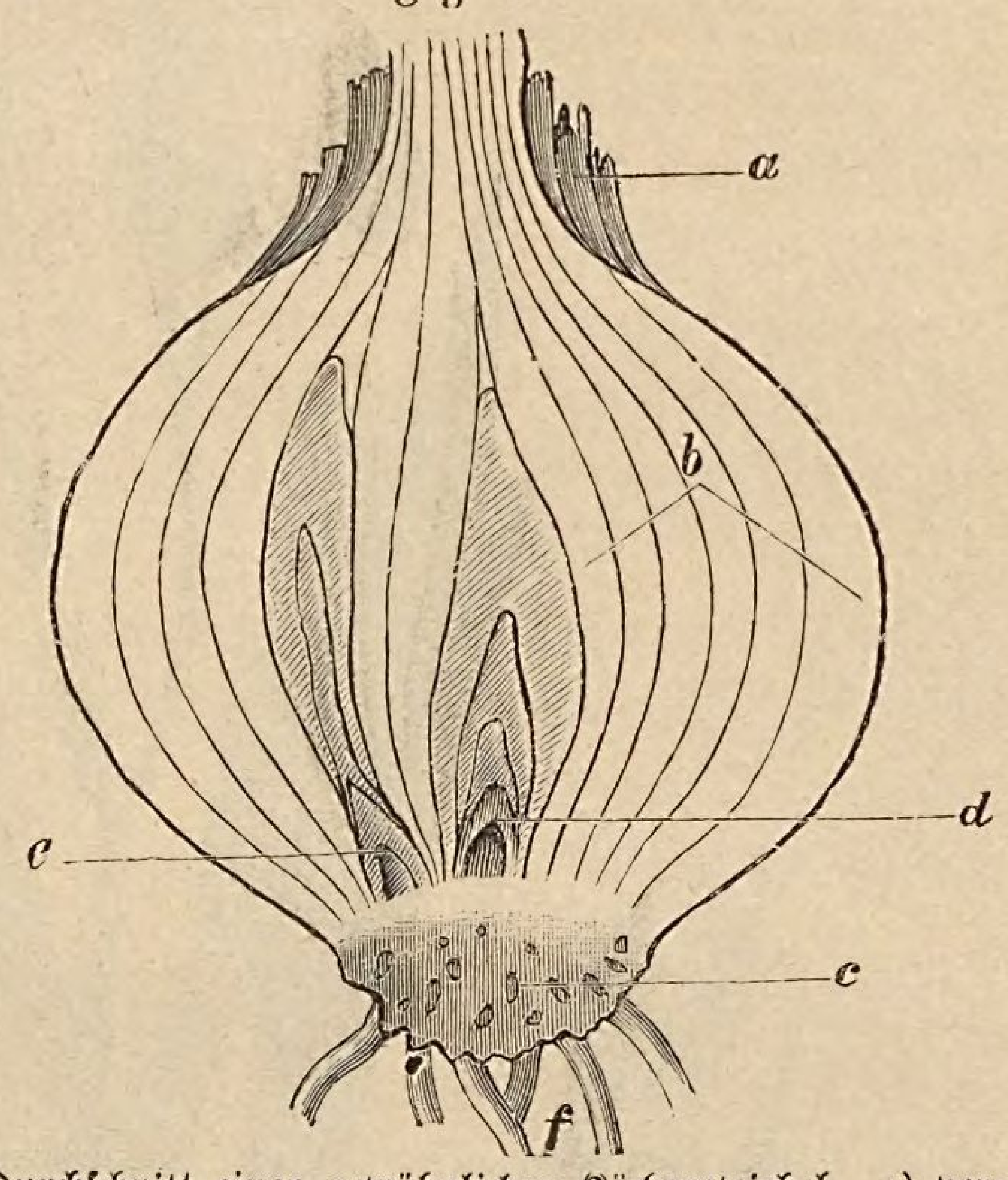
Austreibende Kartoffel, bei b war die Knolle ursprünglich mit der Kartoffelpflanze verbunden. c) Axelsprosse (Augen). d) ein ausgetriebener Sproß. i) dessen Knospe. e) Wurzeln, welche aus dem Stengel entspringen. n) Seitensprosse des Triebes d.

und neue Sprosse und entwickelt eine mächtige Pflanze. Dabei findet nun der umgekehrte Prozeß statt, wie der oben geschilderte. Die Stärke der Knollen wird in Zucker verwandelt und wandert nun aufwärts hinauf in Stengel und Knospen, um zur Bildung von Zellwänden und Protoplasma verwendet zu werden. Die Knolle entleert sich nach und nach bis die neue Pflanze erstarkt

ist, in ihren Blättern Organe der Ernährung besitzt und selbst neue Knollen bildet und mit neuem Nährmaterial anfüllt.

Wenn auch die chemischen Vorgänge bei der Keimung der Kartoffel und des Samens und namentlich der Effekt gleiche sind, so darf man diese beiden Arten Reservestoffbehälter doch nicht für etwas ganz Gleichartiges halten. Der Same ist ein Produkt der Befruchtung und enthält einen Embryo. Die Kartoffel ist ein ganz anderes Pflanzengebilde und im Grunde trotz ihrer besonderen Form nichts weiter, als ein fleischig gewordenes unterirdisches Stammgebilde. Das geht schon daraus hervor, daß die Kartoffelknolle wie alle Stengelgebilde Blätter besitzt, die aber wegen ihres Aufenthaltes unter dem Erdboden zu unscheinbaren Schuppen verkümmert sind. In den Achseln dieser Blätter sitzen ganz, wie bei oberirdischen Blättern, Vegetationspunkte, Knospen, welche sich zu beblätterten Trieben entwickeln. Die sogenannte Keimung der Kartoffel ist also ein bloßes Austreiben von Seitensprossen.

Fig. 54.

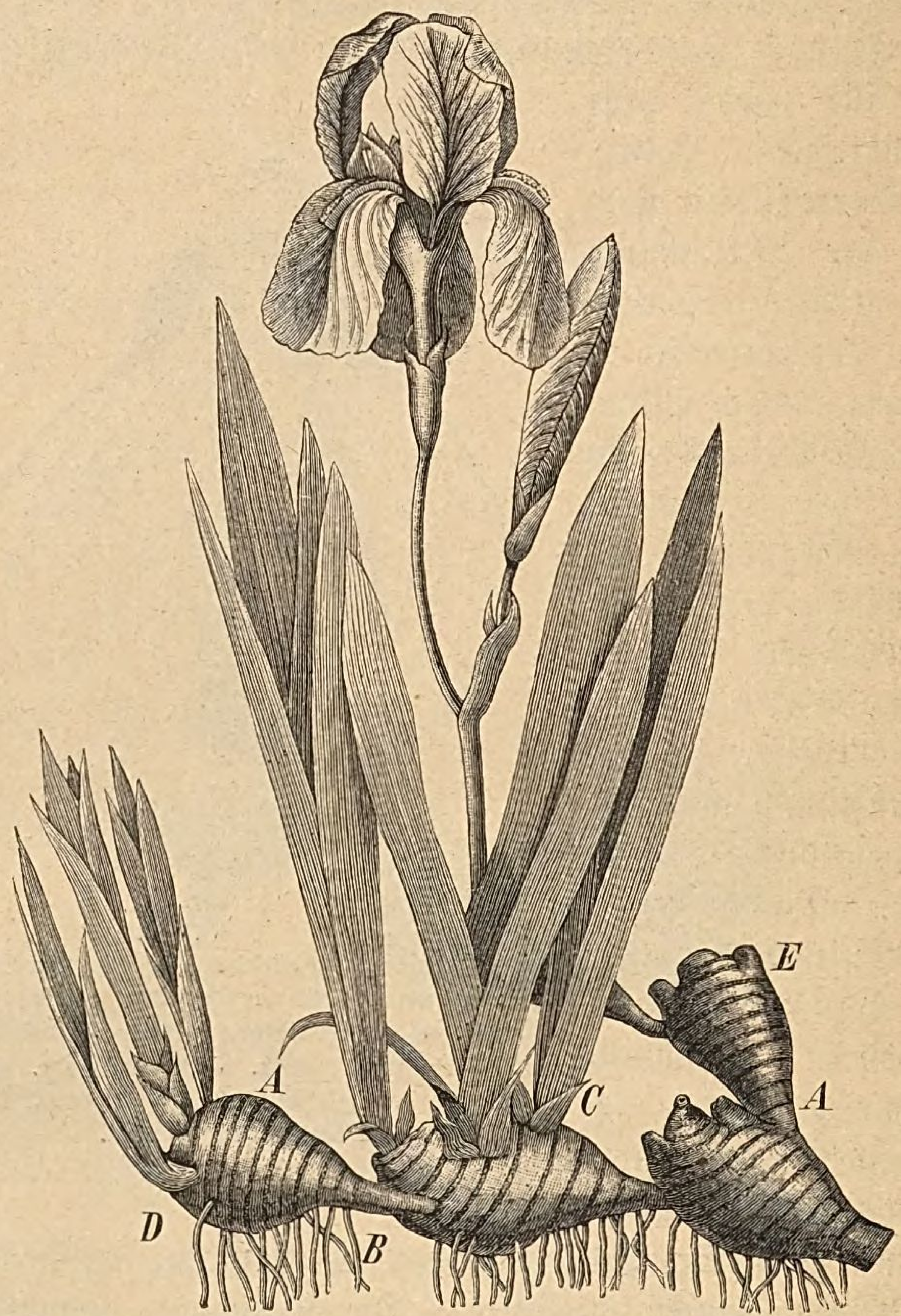


Durchschnitt einer gewöhnlichen Küchenzwiebel. c) verkürzte Axe der Zwiebel aus welcher die Wurzeln entspringen. b) die fleischigen Blätter (Zwiebelschuppen) mit Reservestoffen erfüllt. d) Hauptknospe. e) Ersatzknospe für das nächste Jahr. a) Vertrocknete äußere Schuppen der Zwiebel.

Reservestoffbehälter von anderer Form treten uns in den Zwiebeln der ebendeswegen so genannten Zwiebelgewächsen entgegen, bei den Hyacinthen, Tulpen, Knoblaucharten. Eine Zwiebel

ist ebenfalls nichts weiter, als ein unterirdisches Sproßgebilde. Während bei der Kartoffel die Sproßaxe, der eigentliche Stengel

Fig. 55.



Rhizom der Schwertlilie. A) Glieder des Rhizoms welches mit Stärke angefüllt ist. B) Dessen Wurzeln. C u. D) Oberirdische Sprosse.

dick und fleischig ist, haben bei der Zwiebel die Blätter eine solche fleischige Beschaffenheit angenommen und repräsentieren

sich als sogenannte Zwiebelschuppen. Das parenchymatische Gewebe der Zwiebelschuppen bietet Raum für die Aufspeicherung der Reservestoffe. Eingeschlossen von allen Zwiebelschuppen tief im Innern der Zwiebel sitzt die Knospe, für deren Entwickelung der ganze Aufwand der mit Nährstoffen angefüllten Schuppen bestimmt ist. Neben dieser Knospe, welche die Bestimmung hat im Frühjahr auszuwachsen und während des Sommers Blätter, Blüten und Früchte zu erzeugen, wird in der Achsel einer jüngeren Zwiebelschuppe eine zweite Knospe für das nächste Jahr angelegt. Diese verharrt im Zustande der Ruhe bis zum nächsten Frühjahr, um die inzwischen abgestorbene Hauptknospe zu ersetzen, während sie selbst in den Achseln ihrer Schuppen eine neue Ersatzknospe bildet Sobald die Knospe einer Zwiebel im Frühjahr austreibt, wandern die Nährstoffe aus den Zwiebelschuppen in die wachsenden Organe und ernähren dieselben.

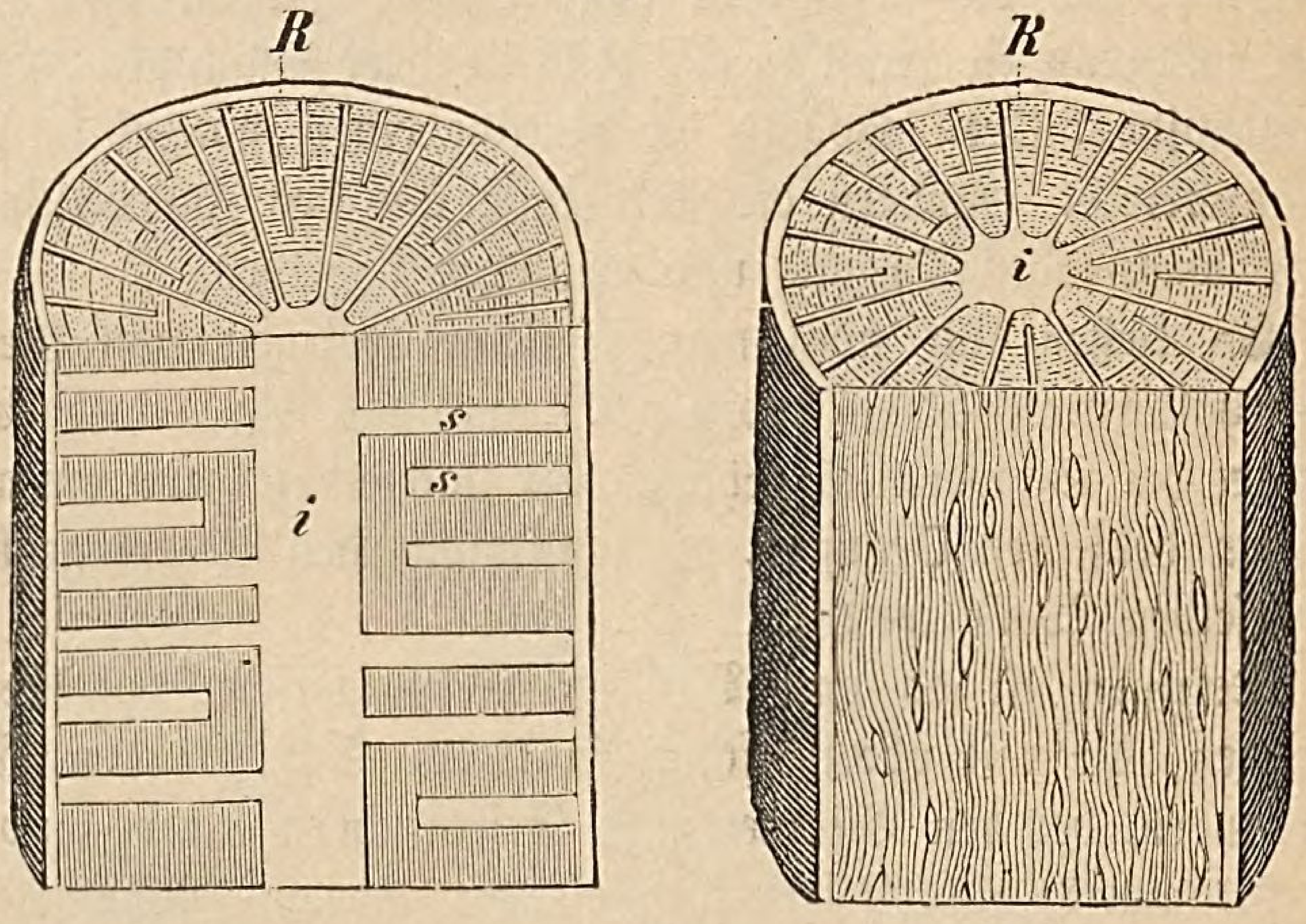
Es ließen sich noch mannigfaltige Formen von Reservestoffbehältern aufzählen, wozu z. B. auch das Fig. 55 abgebildete Rhizom der Schwertlilie gehört. Es handelt sich nur um andere Formen desselben Organes, die physiologischen Vorgänge kehren in derselben Weise wieder.

Dagegen ist es von Wichtigkeit, zu wissen, daß bei den Pflanzen, die mit oberirdischem holzigem Stamme den Winter überdauern, bei den Bäumen und Gesträuchern Rinde und Holz des Stammes als Reservestoffbehälter dienen. Während des Sommers füllen sich die Parenchymzellen der Rinde und des Holzes mit Stärke, die hier als Reservematerial für das nächste Frühjahr liegen bleibt. Die Stärke ist natürlich in den Blättern entstanden und wird den Holzparenchymzellen durch das Gewebe der Markstrahlen zugeführt, welche von der Rinde aus in das Holz hineinstrahlend den kompakten Holzkörper durchsetzen. Sie stehen in Verbindung mit dem Holzparenchym und leiten die Stärke, die aus den Blättern durch die Rinde hinabwandert, dem Holzparenchym zu. Ein schematisches Bild wird dazu beitragen, diesen Bau eines Stammes zu erläutern. Die

erste Abbildung unserer Figur stellt ein Stammstück im radialen Längsdurchschnitt dar. Der Holzkörper ist von der Rinde R umschlossen. Von der Rinde, die wie bekannt, vorwiegend aus parenchymatischem Grundgewebe besteht, gehen Parenchymstrahlen bis zu einer verschiedenen Tiefe in das Holz hinein, zum Teil sogar eine vollständige Verbindung mit dem Mark i herstellend.

Im zweiten Bilde ist durch einen tangentialen Längsschnitt der vordere Teil fortgenommen und dadurch deutlich veranschaulicht, wie die Markstrahlen wie Straßen in das Holz führen, sich zwischen die

Fig. 56.



Schematische Darstellung des Holzbaues. s) Markstrahlen. i) Mark. Das übrige Holz. R) Rinde.

wellig verlaufenden Holzfaserbündel drängen und den ganzen Holzkörper durchsetzen. Die im Holz abgelagerten Kohlehydrate werden im Frühjahr reaktiviert und den Knospen zugeleitet und dadurch schließt sich das Holz dann auch noch den leitenden Gewebeformen für plastische Stoffe an.

Nicht in allen Fällen ist die Stärke die Form, in welcher die Baustoffe in den Reservestoffbehältern angehäuft werden, wennschon sie die größte Verbreitung in Samen, Knollen und

Rhizomen besitzt. Neben Stärke kann fettes Öl oder Eiweiß, welches dann zuweilen kristallisiert auftritt, vorhanden sein.

Bei der Zuckerrübe ist der Reservestoff bekanntlich Rohrzucker, bei den Kompositen z. B. Georginen, Schwarzwurzeln kommt ein Kohlehydrat, das Inulin, als Reservestoff in den Wurzeln vor.

Indem wir die Reservestoffbehälter verlassen, wenden wir unsere Blicke auf die entwickelte Pflanze. Aus dem Stadium der Keimpflanze herausgetreten, schickt sie sich an, ihre vegetativen Organe zu voller Ausbildung zu bringen. Die Entfaltung einer reichlichen Belaubung setzt sie in den Stand, die Zersetzung der Kohlensäure zu beginnen, und Produktion organischer Substanz und deren Verwendung zur Ernährung der reichlich nachwachsenden Organe bleibt eines der Hauptgeschäfte während der Sommerszeit. In dieser Zeit des frischesten Pflanzenlebens setzt dann auch das Getriebe der Stoffbewegungen mit voller Energie ein und die abwechselnde Bildung von Stärke und ihre Auswanderung aus den Blättern ist recht geeignet, eine Vorstellung davon zu geben, was man die Arbeit der Pflanzen nennen könnte. Es ist ja schon aus vielen bisher angeführten Thatsachen klar geworden, daß die Kohlensäurezersetzung eines Blattes nicht nur eine einmalige vorübergehende Leistung ist, sondern daß die Assimilation während der Sommermonate, wo die günstigen Bedingungen der Beleuchtung und der Temperatur vorhanden sind, eine täglich wiederkehrende Arbeit für das Blatt bildet, die es erst mit seinem Tode im Herbste aufgiebt. Aber was das Blatt erzeugt, erzeugt es nicht für sich, die entstandene Stärke wandert unaufhörlich durch die Blattstiele in den Stamm und weiter an alle Orte des Verbrauches. Durch neue Untersuchungen von Sachs*), die ein hohes Interesse beanspruchen, sind unsere Kenntnisse über diese Vorgänge in den Blättern vor kurzer Zeit ganz beträchtlich vermehrt worden. Wenn man nämlich die Blätter der Sonnenrose, vom Kürbis, vom Hopfen oder anderen bei uns einheimischen

*) Sachs. Ein Beitrag zur Kenntnis der Ernährungsthätigkeit der Blätter. Bd. III d. Arbeiten des botan. Instituts zu Würzburg.

Pflanzen früh morgens vor Sonnenaufgang untersucht, so stellt sich heraus, daß dieselben keine Spur von Stärke enthalten. Alle Stärke, die das Blatt am Tage vorher gebildet hatte, ist also in der Nacht ausgewandert.

Schon durch frühere Untersuchungen von Sachs war es bekannt, daß die Blätter im Dunkeln ihre Stärke verlieren. Wenn eine Pflanze längere Zeit ins Finstere gestellt wird, so sind die Blätter bald frei von Stärke, da diese aus den Blättern in die anderen Teile der Pflanze hineinwandert. Sogar an einem beleuchteten Blatt kann man an einer beliebigen Stelle die Stärke zum Verschwinden bringen, indem man durch Bedecken mit einem undurchsichtigen Stoff, am besten durch ein um das Blatt gelegtes Stanniolband die betreffende Stelle verdunkelt. Aus den neuen Beobachtungen folgt nun aber die ganz allgemeine Thatsache, daß auch unter den natürlichen Bedingungen während der nächtlichen Dunkelheit alle Stärke, die das Blatt am Tage produziert, auswandert, so daß am frühen Morgen die Blätter vollständig entleert sind. Die auswandernde Stärkemenge ist eine ganz beträchtliche, sie beträgt z. B. bei der Sonnenrose 10 Gramm pro Quadratmeter. Es ist sehr auffallend, daß sogar bei kühler Temperatur die vollständige nächtliche Entleerung der Blätter stattfindet. Selbst bei 8—9° C. werden die Blätter der Sonnenrose während der Nacht vollständig entleert. Für manche Pflanzen wird indes eine höhere Wärme verlangt, um die nächtliche Auflösung der Stärke zu unterstützen. Die nachts entleerten Blätter bilden am Tage wieder neue Stärke und ihre Thätigkeit beginnt gleich nach Sonnenaufgang. Blätter, die um 4 oder 5 Uhr morgens gar keine Stärke enthalten, haben nach 2 bis 3 Stunden neue Stärke erzeugt, die sich während ihrer Tagesarbeit in ihnen anhäuft. So sind alle Blätter im allgemeinen morgens arm, nachmittags reich an Stärke und gegen Abend mit dem Assimilationsprodukt so reich beladen, daß sie durch die Jodprobe vollständig schwarz werden. Die Stärkewanderung ist freilich nicht ausschließlich auf die Nachtstunden beschränkt, sondern auch

am Tage findet eine Überführung in den Stamm statt, nur kann diese Bewegung natürlich nicht ins Auge fallen, weil die Produktion neuer Stärkemengen am Tage überwiegt. Zuweilen, bei sehr hoher Sommertemperatur von 25—30° C. kann aber auch am Tage die Auswanderung der Stärke so energisch werden, daß die Produktion nicht zur Deckung ausreicht und dann kann man schon in den Nachmittagsstunden die Blätter vollkommen stärkefrei finden. Bei ihrer Auswanderung aus den Blättern wird die Stärke wahrscheinlich durch ein Ferment aufgelöst und in Glukose umgewandelt, wie dies schon als allgemeine Thatsache bei der Stärkewanderung mitgeteilt wurde. Da die Blätter des Morgens völlig stärkeleer sind, so kann man über die Menge der an einem Tage produzierten Stärkequantitäten ein bestimmtes Urteil erlangen und bekommt einen äußerst lehrreichen Einblick in die Leistungsfähigkeit der Blätter. Nach Sachs' Berechnungen produziert eine Sonnenrose pro Quadratmeter 1,6 Gramm Stärke in einer Stunde. Wenn man die mittlere Länge des Sommertages auf 15 Stunden anschlägt, kann 1 Quadratmeter Blattfläche 24 Gramm Stärke während des Tages erzeugen. Durch ihre Atmung verliert eine assimilierende Pflanze gleichzeitig ca. 1 Gramm Stärke, welche Menge also noch den 24 Gramm hinzu addiert werden muß. Die Gesamtblattfläche einer kräftigen Sonnenrose mit 145 Blättern, welche zusammen 1,5 Quadratmeter ausmacht, leistet eine Tagesarbeit von 37,5 Gramm Stärke. Ein Kürbis, dessen Blätter eine größere Oberfläche besitzen, kann mit 7,3 Quadratmetern Blattfläche arbeiten und produziert damit unter günstigen Bedingungen 185 Gramm Stärke an einem Tage.

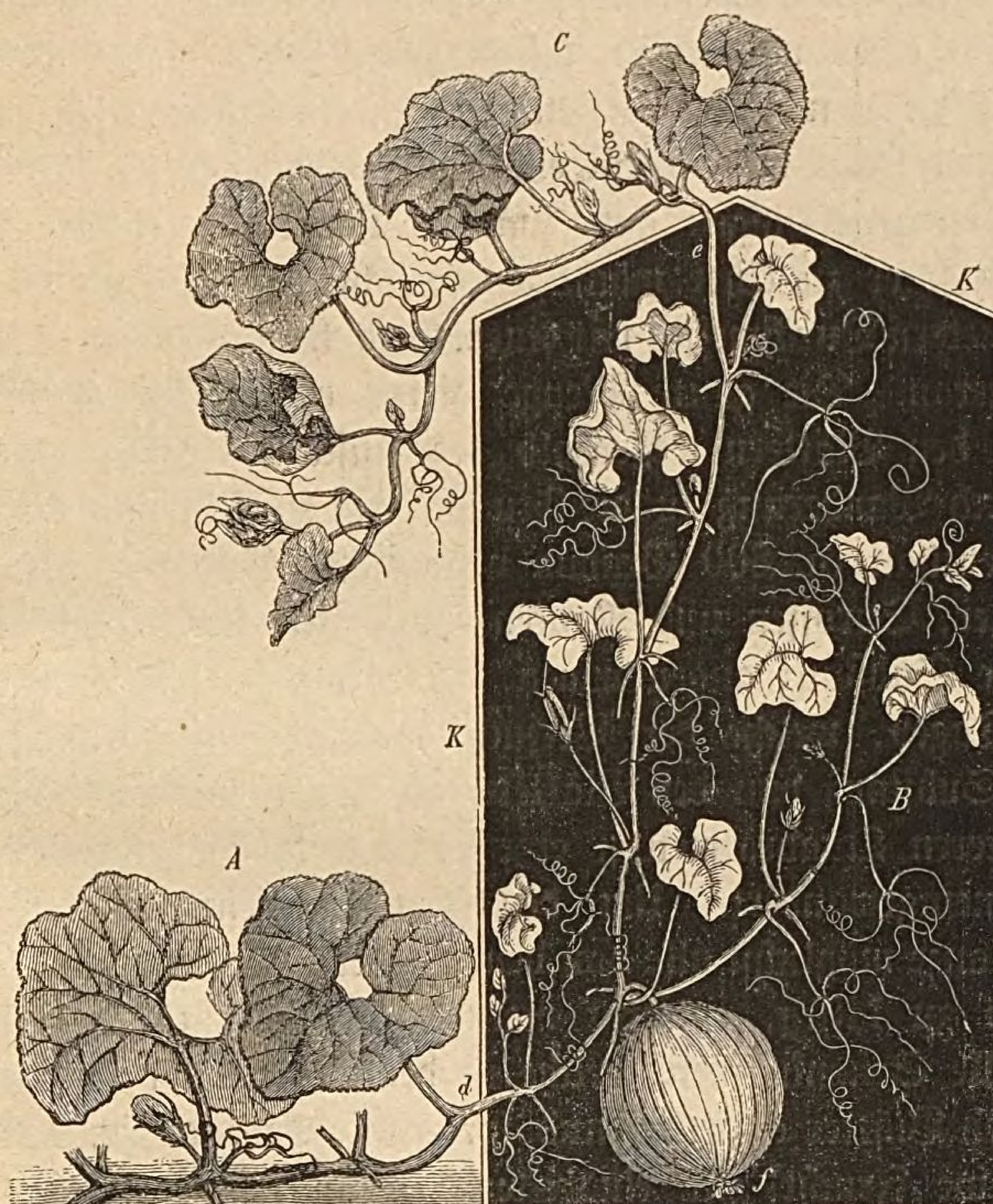
Solche Zahlen stützen besser als allgemeine Betrachtungen die Überzeugung, daß die Pflanzen auch in der That imstande sind, ihre Aufgabe, für das gesamte tierische Leben organische Nahrung zu bereiten, zu erfüllen. Die Entleerung der Blätter bietet, beiläufig bemerkt, ein Beispiel der Nutzbarkeit physiologischer Kenntnisse für das praktische Leben. Bekanntlich werden Blätter mancher Kulturgewächse als Viehfutter verwendet. Nach dem Mitgeteilten ist es einleuchtend, daß es nicht gleichgültig

ist, wann solches Futtermaterial geerntet wird. Erntet man am frühen Morgen, so sind die Blätter ganz ohne Stärke, ihr Nahrungswert ist also ganz beträchtlich geringer als derjenige von Blättern, die nachmittags und gegen Abend geerntet werden. Umgekehrt wird es für manche Zwecke wünschenswert sein, lieber stärkefreie Blätter zu haben, beispielsweise für die Tabaksfabrikation. Es wird die Ware nicht verbessern, wenn die Tabaksblätter abends geerntet werden, wo sie mit Stärke beladen sind, so daß der Raucher in den Tabaksfabrikaten ganz namhafte Quantitäten Stärke mit verbrennen muß.

Wenn gegen Ende des Sommers die Pflanzen blühen und nachdem Bienen, Hummeln und andere Insekten die Blüten befruchtet haben, die Ausbildung der Früchte vor sich geht, werden mit diesen Vorgängen neue Bahnen für die Stoffwanderung eröffnet. Kohlehydrate und Eiweißstoffe wandern den Blüten und Früchten zu, um deren Wachstum und völlige Ausbildung zu fördern. Große fleischige Früchte bilden Anziehungspunkte für reichliche Mengen plastischer Stoffe, die ihnen oft auf weiten Wegen zugeführt werden. Dies läßt sich durch ein anziehendes Experiment erläutern, welches man in der Weise anstellt, daß einem Teil einer Pflanze die eigene Ernährung unmöglich gemacht wird und dieser unthätige Teil von den übrigen assimilierenden Blättern ernährt werden muß. Man leitet die Knospe einer größeren im Freien kräftig vegetierenden Pflanze, beispielsweise eines Kürbis, in einen dunkeln Raum, zweckmäßig in einen Holzkasten, wie Fig. 57 darstellt. Die Knospe wächst innerhalb des Kastens weiter, erzeugt neue Blätter, welche heranwachsen wie die außerhalb des Kastens, mit dem Unterschiede, daß sie völlig etioliert sind. Sie besitzen also auch kein Chlorophyll, können also weder für sich noch für immer neu entstehende Blätter organische Substanz produzieren. Ihr Wachstum und das Fortwachsen der Knospe beweist aber auf das Deutlichste, daß sie ernährt werden, und es ist einleuchtend, daß dies durch die Blätter außerhalb des Kastens geschieht. Die Stoffe, welche

von den im Freien befindlichen Blättern (A) erzeugt werden, wandern in die verdunkelten Teile ein und ernähren diese. Nachdem im Raume des Kastens reichliche Belaubung entstanden ist, kommen auch Blüten zum Vorschein und da zeigt sich zu-

Fig. 57.



Versuch zur Erläuterung der Stoffwanderung. (Nach Sachs.)

nächst, daß diese auch in der Dunkelheit sich völlig normal ausbilden. Nur die Blütenstiele zeigen noch die für etiolierte Sproßteile charakteristische beträchtliche Verlängerung, im übrigen ist die Form der Blüten ebenso normal wie im Freien, und was besonders interessant ist: gefärbte Blüten entwickeln sich in ihrer vollen Farbenpracht, die sie im Freien zeigen. Für die Ent-

stehung der Blütenfarbstoffe ist also das Licht keine unumgängliche Bedingung. Bleiben wir bei dem konkreten Fall der Kürbispflanze. Sie erzeugt in dem finstern Holzkasten ihre großen gelben Blüten. Da der Insektenbesuch durch die Absperrung verhindert ist, so muß man die Befruchtung selbst vornehmen, indem von einer männlichen Blüte des Kürbis etwas Blütenstaub auf die Narbe der weiblichen Blüte gebracht wird. Der Fruchtknoten zeigt bald durch ein Anschwellen, daß die künstliche Befruchtung angeschlagen hat, und im Laufe von einigen Monaten wächst er zu einer mächtigen Frucht von einigen 30 bis 50 Centimetern Durchmesser mit einem Gewicht von 3 bis 10 Kilogramm heran. Die ganze Menge dieser organischen Substanz wird von den Blättern außerhalb des Kastens erzeugt und gelangt durch Wanderung in die Frucht. Ein Kürbis von 10 Kilo Gewicht enthält ca. 800 Gramm organischer Substanz und für die Blätter, Sprossen und Ranken im Kasten noch 50 Gramm organische Substanz angenommen, so waren im Laufe von 70 bis 80 Tagen, welche der Versuch dauerte, 850 Gramm organische Substanz von den Blättern im Freien mit einer Fläche von mehreren Quadratmetern erzeugt und in die eingesperrten Teile hineingewandert. Um den eingeschlossenen Teilen der Kürbispflanze möglichst alle von den Blättern produzierten Stoffe zukommen zu lassen, entfernt man bei Anstellung des Experimentes alle Seitenknospen, welche in den Achseln der im Freien befindlichen Blätter entstehen und sorgt besonders dafür, daß im Freien keine Frucht zur Ausbildung gelangt, indem man die weiblichen Blüten abschneidet. In unserer Figur ist schließlich die fortwachsende Knospe durch das Dach des Kastens wieder ins Freie geführt und hat nun am Licht wieder normale grüne Blätter erzeugen können, die sich selbst ernähren, aber doch natürlich der Zuleitung des Wassers und der Mineralstoffe durch die ganze Pflanze hindurch bedürfen.

Auch bei der Reife der Früchte im Freien unter ganz natürlichen Bedingungen finden ganz dieselben Vorgänge der Ein-

wanderung von Stoffen statt, wie bei unserem Versuch. Es könnte allerdings den Anschein haben, als ob Früchte, welche Chlorophyll enthalten, z. B. grüne Weintrauben, die Zuckermengen, welche sie bei der Reife enthalten, am einfachsten selbst produzieren könnten, indem sie ganz in der Weise der Blätter zuerst Stärke erzeugen und diese in Zucker umwandeln würden. Das ist aber nicht der Fall, wie für die Weintrauben durch sorgfältige Untersuchungen von Müller Thurgau festgestellt wurde. Wenn man nämlich Trauben nach vollendeter Blüte ganz ebenso in einem dunkeln Kasten reifen läßt, wie bei dem Demonstrationsversuch mit dem Kürbis, so ist der reifenden Traube jede eigene Stärke- und Zuckerbildung unmöglich gemacht, da sie im Dunkeln kein Chlorophyll ausbildet und also nicht assimiliert. Dennoch werden solche eingeschlossene Trauben ebenso zuckerreich, wie im Freien gereifte, ein Beweis, daß der in reifen Trauben vorhandene Zucker ihnen aus den Blättern zugewandert ist. Bei einem derartigen Versuche Müller-Thurgaus enthielt von zwei Rießlingstrauben derselben Rebe die im Dunkeln erwachsene im abgepreßten Saft 15,54 Proz. Zucker und 12,23 Proz. Säure, die im Licht erwachsene 15,78 Proz. Zucker und 12,23 Proz. Säure. Eine größere Übereinstimmung als diese Zahlen, welche sich bei mehrfach wiederholten Versuchen ebenso ergab, kann man nicht verlangen. Die Trauben würden nun aber auch gar nicht imstande sein, mit ihrem Chlorophyll die Zuckermengen, die sie bei der Reife enthalten, herzustellen. Sie verlieren nämlich durch ihre Atmung viel mehr Zucker als sie durch eigene Assimilation bilden. Unreife grüne Rießlingstrauben z. B. können durch eigene Assimilation in einer Stunde pro Kilogramm aus 145 Milligramm Kohlensäure 79 Milligramm Zucker herstellen, geben aber in gleicher Zeit 169,5 Milligramm Atmungskohlensäure ab, welche 115,6 Milligramm Zucker entspricht. In der That bilden also die grünen Trauben durch Assimilation etwas Kohlehydrat, allein diese Menge ist so gering, daß sie nicht ausreicht, den Atmungsverlust zu decken. Die Menge des Zuckers, welche

die reife Weintraube enthält, ist also auf dem Wege der Stoffwanderung aus den Blättern an Ort und Stelle gelangt.

Mit der Frucht- nnd Samenreife ist der Entwickelungsgang einer Pflanze abgeschlossen. Die einjährigen Gewächse sterben nach Erreichung dieses Zieles ab. Die nutzbaren Substanzen, welche noch in den Blättern und Stengelteilen vorhanden waren sind in die Früchte und Samen eingewandert und das übrige wird dem Untergange geweiht. Die mehrjährigen Pflanzen, welche überwintern, um im nächsten Jahre denselben Turnus zu wiederholen, stellen ihre Thätigkeit ein, um den Winter über die Ernährung ruhen zu lassen. Durch den Abfall der Blätter, welcher im Herbst eintritt, verlieren die Bäume und Gesträuche ihre Assimilationsorgane und mit dem Aufhören der Stärkebildung hört selbstverständlich die Transpiration auf, so daß im Winter alles Leben in den Pflanzen latent geworden ist. Ehe die Pflanzen in die Winterruhe eintreten, bildet der Fall des Laubes noch ein Stadium des Überganges. Es scheint gewöhnlich, als ob der herbstliche Wind die gelben Blätter einfach von den Bäumen herabwehe, dennoch ist der Vorgang des Blattfalls nicht so einfach, vielmehr werden die Blätter von den Bäumen selbst abgestoßen und der Wind übernimmt nur das letzte Werk, die lockeren Blätter zu entführen. An der Stelle, wo das herbstliche Blatt sich vom Zweige löst, bildet sich durch Auseinanderweichen zweier Zellschichten die sogenannte Trennungsschicht, welche nur noch einen ganz lockeren Zusammenhang mit einem Zweige vermittelt, so daß der Wind ein leichtes Spiel hat, die schon abgelösten Blätter herabzuwerfen. Es ist eine häufig beobachtete Erscheinung, daß im Beginn des Winters nach einem gelinden Nachtfroste wie mit einem Schlag alles Laub, welches noch am Tage vorher an den Bäumen saß, nun zu Boden gefallen ist, selbst wenn kein Wind herrschte. Bei Frost entsteht nämlich in der Trennungsschicht ein Eisplättchen und durch dieses ist nun der Blattstiel von seinem Stützpunkt schon wie abgeschnitten, und die Verbindung wird nur noch durch die dünne

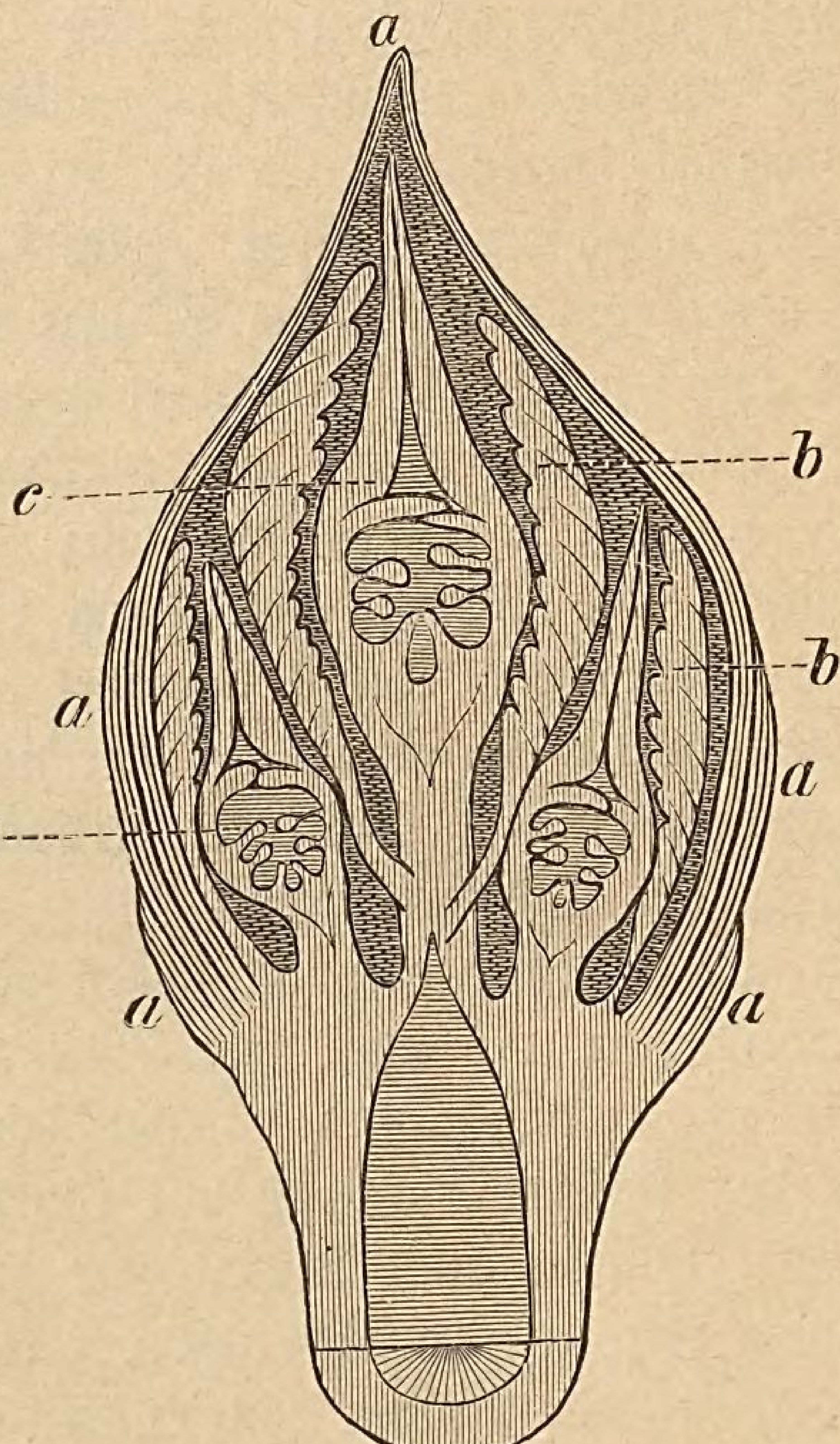
Eiskruste aufrecht erhalten. Wenn am Morgen die Temperatur wieder steigt, schmelzen alle Eisplättchen in den Trennungsschichten und die Blätter fallen sämtlich zu Boden.

Durch den Laubfall werden alljährlich ganz beträchtliche Massen organischer Substanz der Zerstörung anheimgegeben. Dieselbe wird allerdings wieder ausgenutzt, indem andere Organismen, die Pilze, die Blattsubstanz zersetzen und für ihre Ernährung benutzen, aber für den Baum selbst ist diese Masse von Substanz, welche er produzierte, verloren. Es ist nun von hohem Interesse, daß von den nutzbaren Stoffen, welche die Blätter noch enthalten, alle transportabeln in die Pflanze zurückkehren, bevor die Blätter abfallen. Die Blätter werden vorher entleert und es findet eine Wanderung von nutzbaren Stoffresten in den Stamm statt. Die Eiweißsubstanz der Chlorophyllkörner wird, nachdem die Körner ihre Form verloren haben in den Stamm transportiert, ebenso wandert alle Stärke, die noch in den Blättern vorhanden ist, aus. Nur nutzlose Substanzen, Degradationsprodukte des Zellinhaltes, Krystalle von oxalsaurem Kalk, bleiben in den Blättern zurück.

Entlaubt und scheinbar aller Organe beraubt, stehen nach dem Fall des Laubes die Bäume da, um nach dem Ende des Winters zu neuer Thätigkeit zu erwachen und es hat dann beim Beginn des Frühlings den Anschein, als ob mit rapider Schnelligkeit die Bildung neuer Blätter und Blüten vor sich ginge, mit denen wir die Bäume sich bald bedecken sehen. Aber das ist nur Schein, denn der Ersatz der Blätter und Blüten ist schon lange vorgesehen. Die Laub- und Blütenknospen, welche mit Beginn des Frühlings sich entwickeln, sind schon im Sommer vorher angelegt und bis zu einer gewissen Stufe vollkommen fertig geworden und überdauern den Winter in einem Zustande der Ruhe. Fallen die Blätter auch ab, so bleiben doch ihre Achselknospen am Zweige sitzen und von zahlreichen Schuppen eingehüllt und geschützt, überdauern sie als sogenannte Winterknospen die kalte Jahreszeit.

Durchschneidet man eine Winterknospe des Apfelbaumes, so läßt sich mit einer mäßig starken Vergrößerung ihr ganzer Bau überblicken und man erkennt namentlich, daß nicht nur Blätter, sondern auch schon junge Blüten in der Winterknospe vorhanden sind. Kelch, Blumenblätter, Staubgefäße und Fruchtknoten, alles ist schon vollständig fertig und beim Beginn des Frühlings brauchen sich die Organe nur in die Länge zu strecken und alsbald stehen die Bäume in voller Blüte. Man übersieht es dann wohl leicht, daß ein solcher ganzer Blütensproß eines Obstbaumes wie ihn Fig. 58 B abbildet, in einer Knospe eingeschlossen war, ähnlich der, welche Fig. A in noch geschlossenem Zustande zeigt.

Fig. 58.

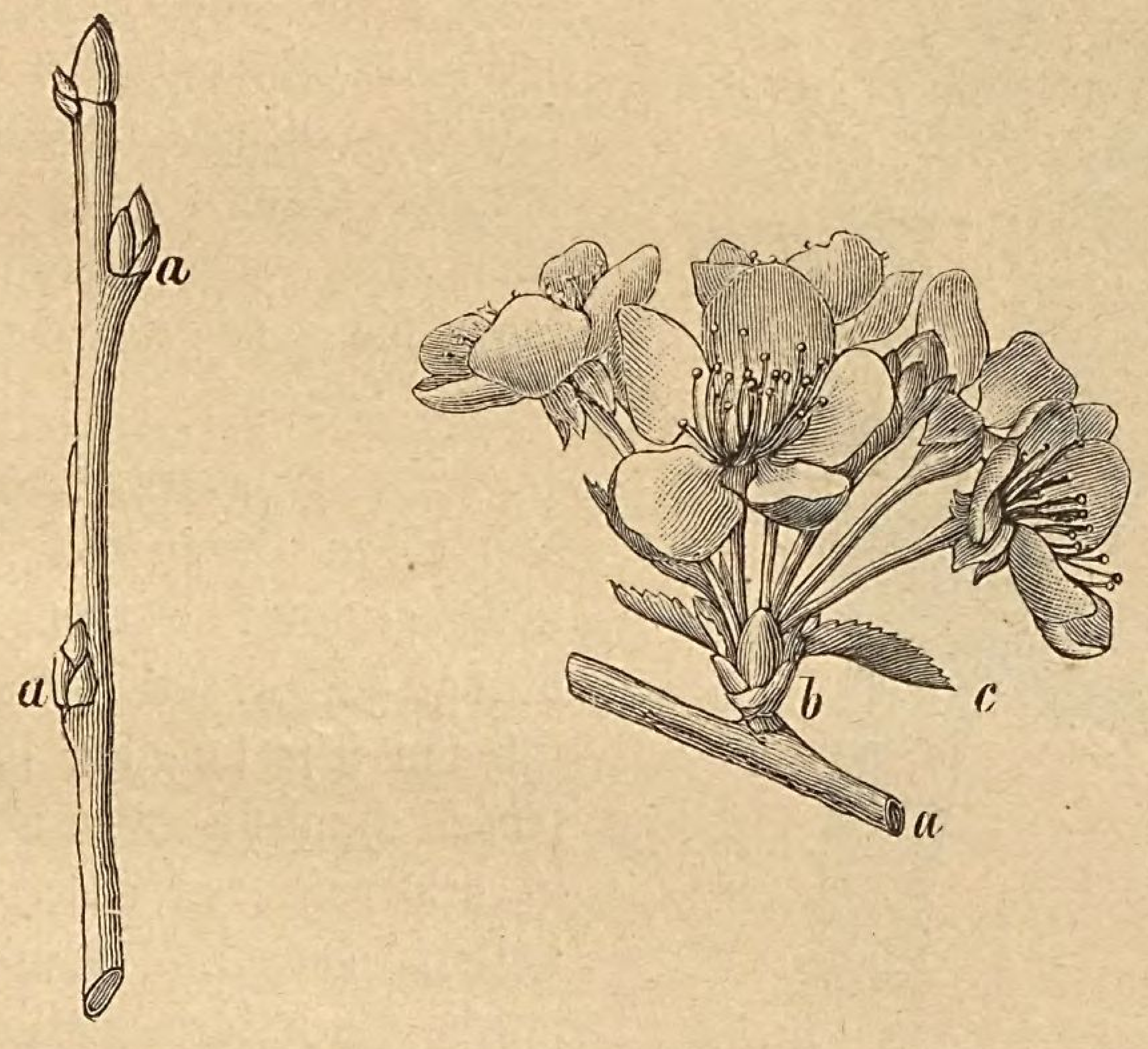


Durchschnitt einer Winterknospe des Apfelbaumes. c) junge Blüten mit Kelch, Blumenblättern, Staubfäden, Fruchtknoten. b) zusammengefaltete junge Blätter. a) Schuppen der Knospe.

Wenn man das Überwintern der Knospen und Reservestoffbehälter als Ruheperiode bezeichnet, so ist das nicht bloß eine bildliche Redensart, sondern es wird damit ein ganz bestimmter Zustand bezeichnet, welcher aus der Mitteilung einiger Thatsachen verständlich werden wird. Es könnte scheinen, daß die Pflanzen beim Anbruch des Winters nur deshalb in einen Ruhezustand, gleichsam in Winterschlaf verfallen, weil durch das Sinken der Temperatur ein Wachstum neuer Organe verhindert würde. Allein die Ruhe der Winterknospen und Reservestoff-

behälter ist nicht bloß ein durch winterliche Ungunst erzwungenes Stehenbleiben in der Entwickelung, sondern die Notwendigkeit der Winterruhe liegt in den Verhältnissen der Organe selbst. Es stellt sich nämlich heraus, daß wenn man einen mit Knospen besetzten Zweig eines Baumes, z. B. einer Roßkastanie nach dem Laubfall im November oder Dezember in ein warmes Zimmer bringt und ins Wasser stellt, die Knospen trotz der höheren

Fig. 58 A u. B.



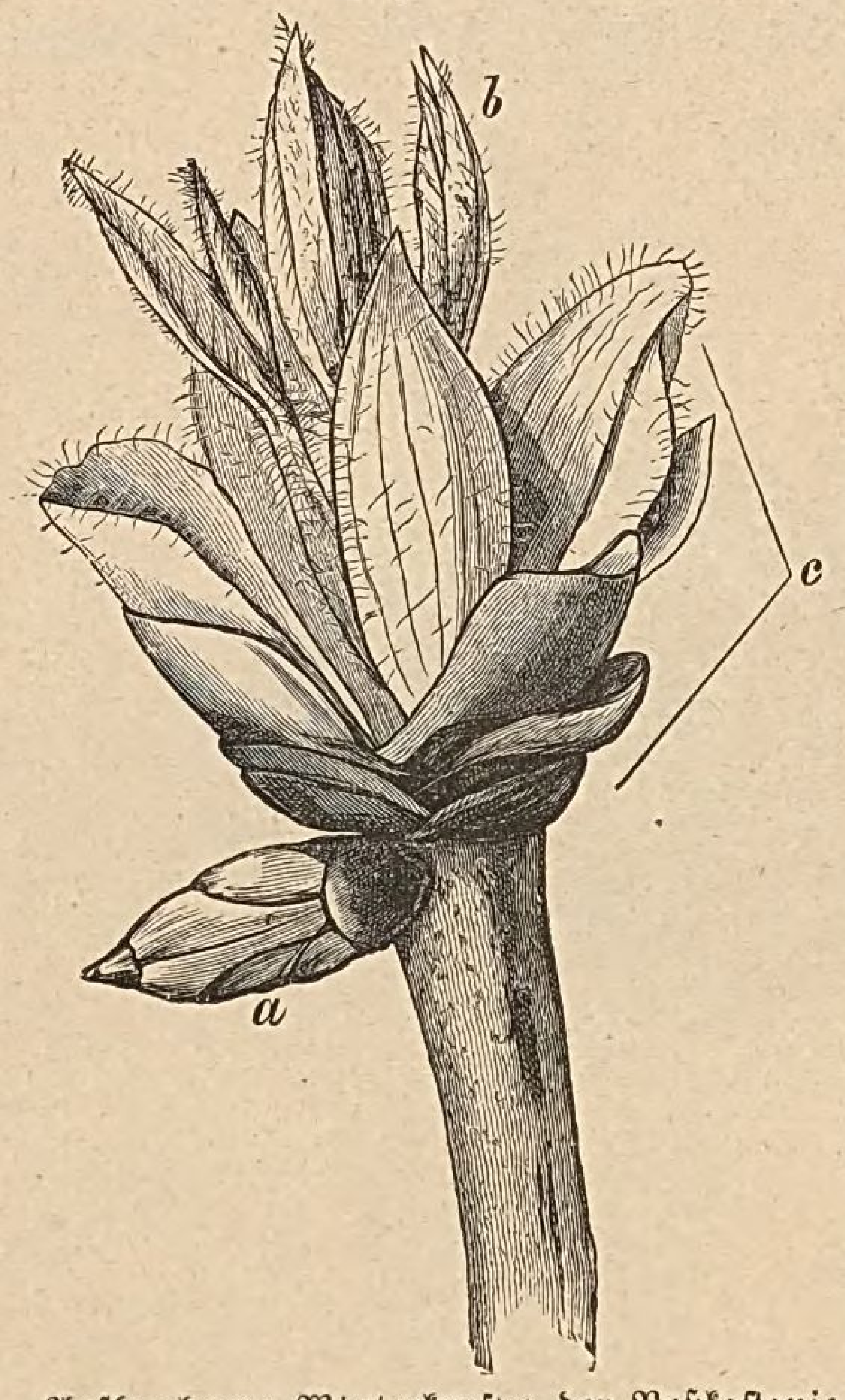
A) Zweigende des Apfelbaums mit geschlossenen Winterknospen a. B) Blühender Kirschzweig. Der ganze Blütenstand samt den Blättern c war in der Knospe b eingeschlossen.

Temperatur nicht aufbrechen, sondern wie wenn nichts geschehen wäre, vollständig bleiben wie sie sind. Erneuert man das Wasser häufig, so bleibt der Zweig vollständig lebendig, aber eine sichtbare Änderung tritt in Wochen nicht ein.

Endlich gegen Mitte des Januar vielleicht fangen auf einmal die Knospen an sich langsam zu öffnen. Die umhüllenden Schuppen spreizen immermehr auseinander und der junge Sproß streckt sich heraus.

Noch sehr viele andere Beispiele lassen sich dafür anführen, daß eine von äußeren Einflüssen unabhängige Ruheperiode in der That vorhanden ist. Hyacinthen und Tulpenzwiebeln z. B. bringt man im Herbst nicht zum Treiben, wie bekannt. Auch andere Zwiebelgewächse kann man im November und Dezember nicht antreiben, dagegen leicht im Februar und März. Kartoffelknollen liegen den Winter über ruhend im Keller, im zeitigen Früjahr erst beginnen sie ihre Triebe lustig auszutreiben. Manche Samen z. B. von der Weißtanne und Buche ruhen sogar bis zum folgenden Jahre ehe sie keimen.

Fig. 60.



Aufbrechende Winterknospe der Roßkastanie. c) Knospenschuppen. b) junger beblätterter Sproß. a) noch geschlossene Winterknospe.

Die genauere Beobachtung der vielen Einzelfälle, welche noch genannt werden könnten, drängt zu der Annahme, daß es sich um sehr langsam fortschreitende chemische Veränderungen in den ruhenden Reservestoffbehältern handelt, Veränderungen, welche eine Vorbedingung ihrer Entwickelung sind. Vielleicht ist anzunehmen, daß die Fermente, welche bei der Keimung der Samen und beim Austreiben ruhender Knospen eine so bedeutende Rolle spielen, sich erst während der Ruheperioden bilden und ansammeln müssen, ehe sie die Reaktivierung der Reservestoffe bewirken können. In manchen Fällen kann der Verlauf dieser chemischen Wandlungen in den Reservestoffbehältern beschleunigt werden, wenn man dieselben austrocknen läßt. Namentlich hat man bei Dauersporen von Pilzen und

Algen durch Austrocknen die Ruheperiode abkürzen können. Dennoch ist das Austrocknen allein nicht etwa die Vorbedingung der Entwickelung ruhender Organe. Denn Früchte der Wassernuß Trapa natans liegen während ihrer Ruheperiode auf dem Boden der Gewässer, wo also von Austrocknung nicht die Rede ist. Und doch zeichnen sich gerade die Wassernüsse ebenfalls durch eine ausgesprochene Ruheperiode aus. Legt man Wassernüsse nach ihrer Reife im September in Wasser und hält sie im Zimmer, so keimen sie nicht, wenn auch das Wasser 15—20° C. warm ist, sondern ruhen den ganzen Winter über. Erst im März oder April erwachen sie plötzlich und keimen selbst dann, wenn die Temperatur des Wassers eine niedrige ist und etwa nur 8–10° C. beträgt.

Hier handelt es sich also, wie man sieht, um noch rätselhafte Vorgänge und vorerst bleiben die Ruheperioden noch unerklärte, wenn auch äußerst interessante Thatsachen.

Die Atmung der Pflanzen.

Mit der Bildung neuer Substanz, mit dem Aufbau des lebendigen Leibes aus ihr, geht ein stetiger Zerfall Hand in Hand. Ist die Assimilation im Chlorophyll eine Quelle stetigen Gewinnes, so ist die Atmung eine dauernde Ursache des Verlustes an assimilierter Substanz. Der Sauerstoff ist der mächtige Zerstörer, der unausgesetzt am Organismus nagt, der die Moleküle spaltet, die komplizierten Atomverkettungen auseinanderreißt und in einfache Verbindungen zurückführt, was die Pflanze durch synthetische Kräfte aufgebaut hatte. Und dennoch lebt nur, was diesem Wechsel unterliegt. Atmen und leben hat in der Sprache dieselbe Bedeutung, nur was atmet lebt. Der Sauerstoff unterhält das Getriebe des Lebens, ohne seinen Eingriff ist der Organismus nur ein stillstehendes Uhrwerk. Die Pflanze atmet ihr ganzes Leben hindurch, von der Keimung ihres Samens bis zur Bildung der Blüten und Frucht, die den neuen Samen enthält. Alle Pflanzenteile atmen, Wurzeln, Stengel, Blätter, Blüten und

Früchte und die Pflanze atmet zu jeder Zeit, Tag und Nacht. Der pflanzliche Atmungsprozeß ist, was seinen Chemismus anbetrifft, von dem der Tiere nicht verschieden, die Pflanze nimmt Sauerstoff auf und atmet Kohlensäure aus und zwar wird für ein Volumen eingeatmeten Sauerstoffs ein gleiches Volumen Kohlensäure exhaliert. Eine Ausnahme von diesem Mengenverhältnis findet nur bei der Keimung fetthaltiger Samen statt.

Schon dem Entdecker der Assimilation, Ingenhouß, war die Kohlensäureausatmung bekannt und wurde durch Theodore de Saussures wichtige Untersuchungen im Anfang der zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts experimentell begründet. Ganz besonders wurde später durch Dutrochet im Jahre 1837 die Identität der Planzenatmung mit der tierischen hervorgehoben. Kurz darauf aber trübte sich seltsamerweise die klare Einsicht in diese Thatsache und es erhielt eine ebenso unklare wie widerspruchsvolle Anschauung über die Pflanzenatmung die Oberhand. Zunächst hatte Liebig, welcher in der Kohlensäureausatmung einen Widerspruch mit der Ernährung erblicken mochte, die ganze Atmung als Unding erklärt und ihr Vorhandensein einfach verneint. Dann aber wurden ganz im Gegenteil von anderen Seiten die Pflanzen sogar mit einer doppelten Atmung begabt. Man sprach von einer Tages- und einer Nachtatmung der Pflanzen; am Tage sollten diese Kohlensäure ein- und Sauerstoff ausatmen, in der Nacht Kohlensäure ausatmen und dafür Sauerstoff aufnehmen. Es ist klar, daß der Vorgang, den man als Tagesatmung bezeichnete, nichts anderes war, als die Assimilation, also ein Ernährungsvorgang, der mit der Atmung gar nichts zu thun hat. Dieser Irrtum wäre verzeihlich gewesen, wenn nicht die vortrefflichen Arbeiten von Saussure und Dutrochet schon vorgelegen hätten, denn die Atmung wird am Tage durch den gleichzeitig vor sich gehenden Assimilationsprozeß allerdings verdeckt. Erst in den sechziger Jahren wurde die Atmung wieder in das rechte Licht gerückt*), sie ist bei den

*) Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen.

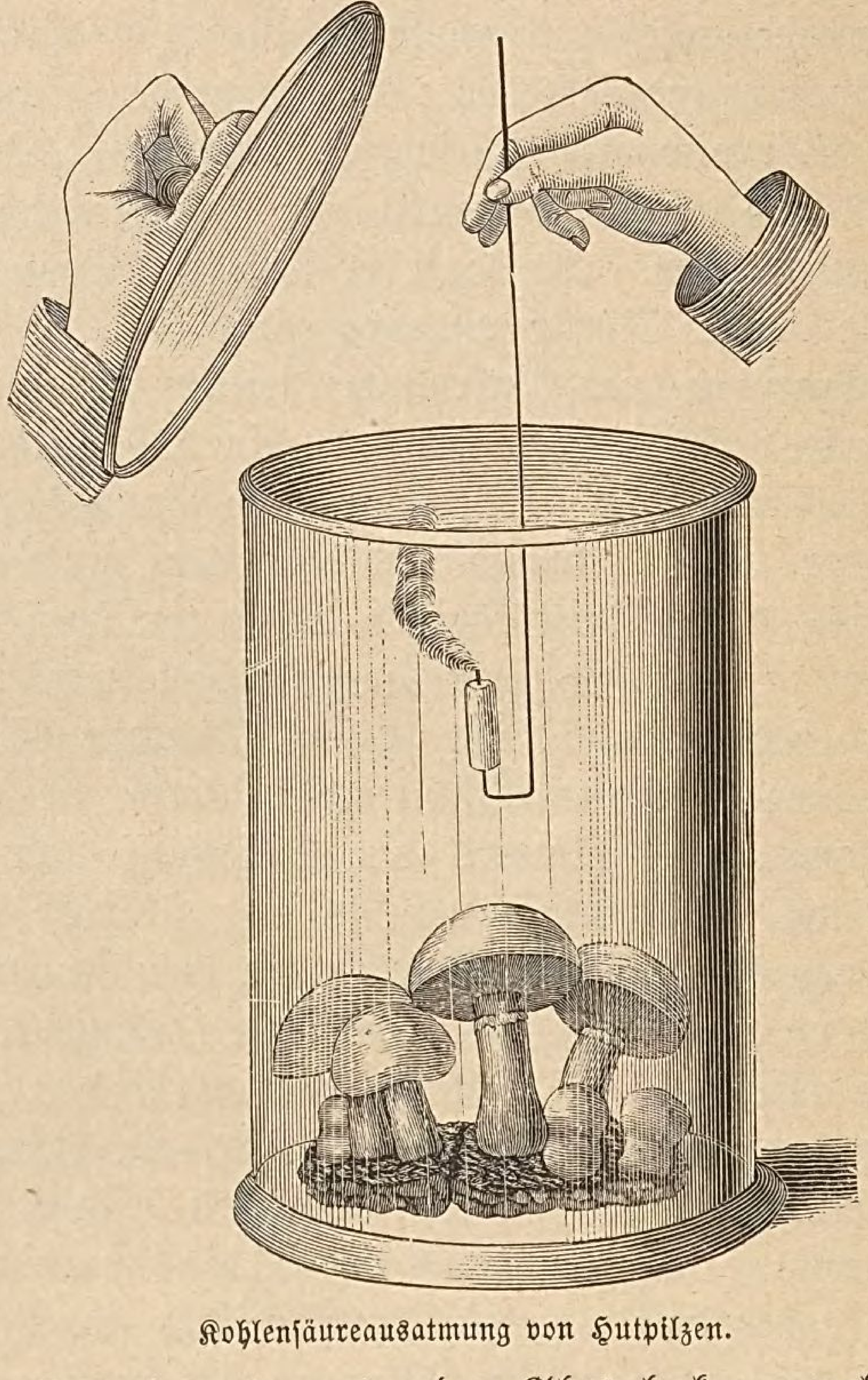
Pflanzen genau wie bei den Tieren eine Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlensäure, wobei zugleich Wasser gebildet wird.

Von diesen wesentlichen Symptomen der Atmung ist die Kohlensäureexhalation am leichtesten zur Anschauung zu bringen und zwar am besten mit nicht grünen Pflanzenteilen, da bei diesen kein nebenherlaufender Assimilationsprozeß die Beobachtung erschwert. Eine einzelne Blüte oder einen keimenden Samen kann man in ein Absorptionsrohr bringen, welches mit Quecksilber abgesperrt ist und durch Absorption mit Kali die ausgeatmete Kohlensäure nachweisen. Anschaulicher wird der Prozeß, wenn man hunderte solcher Objekte zusammenhäuft.

Man fülle also in einen Glascylinder, welcher mit einem eingeschliffenen Deckel verschlossen werden kann, eine Quantität Blüten, die man in größerer Zahl haben kann, etwa Ranunkulusblüten, Kamillen- oder andere Kompositenblüten oder auch keimende Erbsen, Mais- oder Weizenkörner, welche zwischen feuchtem Filtrierpapier in dem Cylinder aufgeschichtet werden. Der Cylinder wird bedeckt und bleibt 12—16 Stunden verschlossen stehen. Die eingeschlossenen Pflanzenteile atmen, sie entziehen dem Luftvolumen des Cylinders den Sauerstoff und hauchen Kohlensäure aus. Bekanntlich verlischt eine Flamme in einer Atmosphäre von Kohlensäure und wenn wir in unseren Cylinder nach Ablauf der angegebenen Zeit eine Kerze eintauchen, so tritt ganz derselbe Erfolg ein. Die Kerze lischt aus in dem Moment, wo sie unter den Rand des Cylinders sinkt, ein Beweis, daß sich nicht nur etwas Kohlensäure in demselben befindet, sondern das die Kohlensäure bis zum Rand das Glasgefäß anfüllt. Die Pflanzenteile haben den gesamten Sauerstoff des eingeschlossenen Luftvolumens bis auf das letzte Atom an sich gerissen und der Cylinder ist mit Kohlensäure vollständig angefüllt. Die beigegebene Abbildung erläutert diesen ebenso einfachen als überzeugenden Versuch. Der Cylinder enthält eine Vegetation von Hutpilzen, welche ganz in derselben Weise, wie höhere Pflanzen atmen.

Zum einfachen Nachweise der Atmungskohlensäure sowohl, wie auch zu quantitativen Studien kann man sich eines Apparates bedienen, wie ihn Fig. 62 demonstriert. Die atmenden Pflanzen, keimende Erbsen oder andere Samen, befinden sich

Fig. 61.

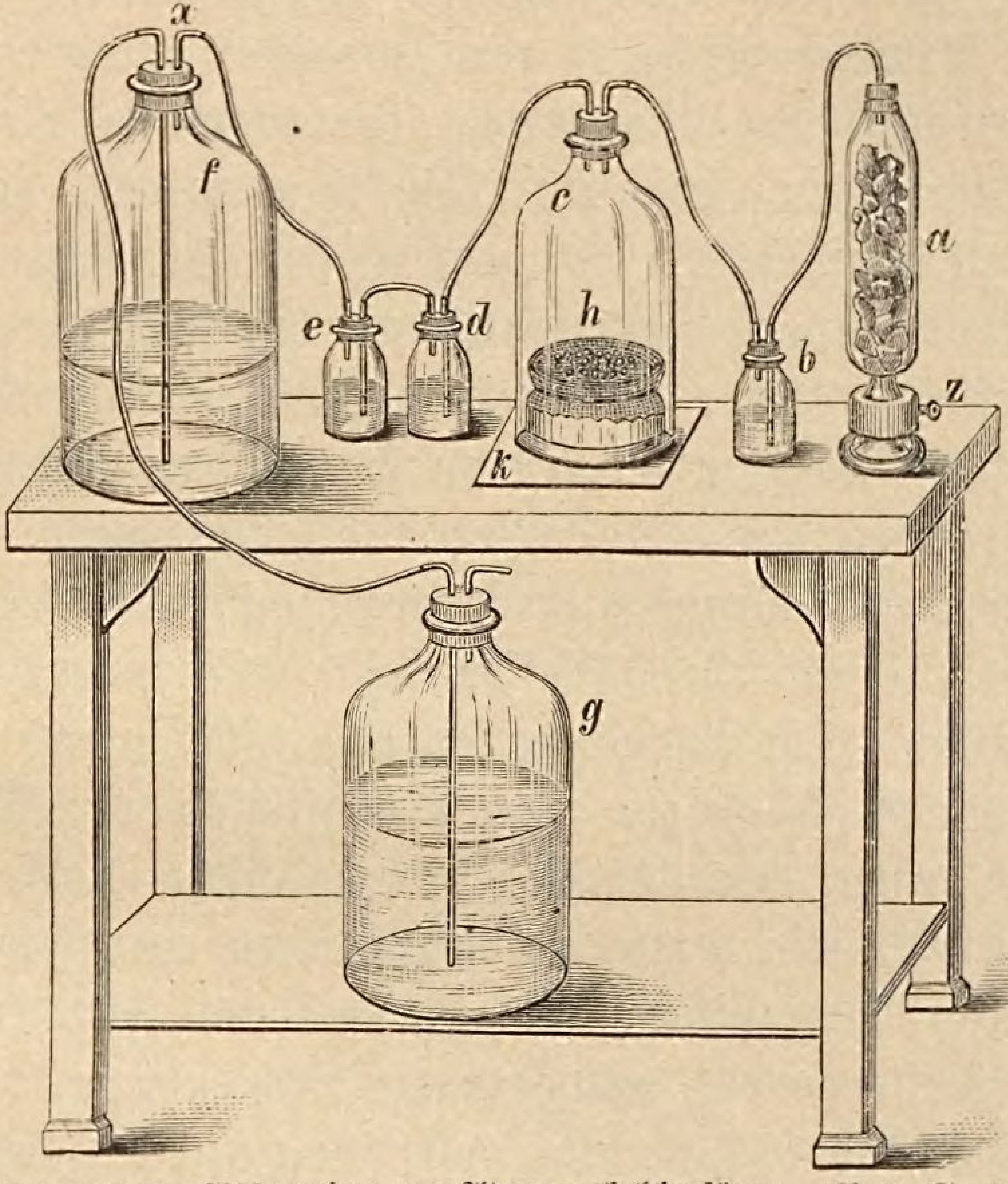


Kohlensäureausatmung von Hutpilzen.

auf einer Unterlage h unter der Glasglocke c, welche luftdicht auf der geschliffenen Glasplatte k befestigt ist. Die Unterlage für die Samen bildet eine Krystallisierschale mit Stramin überbunden; die nötige Feuchtigkeit wird den Samen durch in der Schale befindliches Wasser zugeführt. Man leitet nun durch den

Rezipienten c einen Luftstrom über die Samen, um ihnen neuen Sauerstoff zuzuführen, die Kohlensäure dagegen fortzuleiten. Die Luft wird von dem Aspirator f g durch den ganzen Apparat gesogen. Sie tritt bei z in den Glasturm a, welcher, um die eintretende atmosphärische Luft von der ihr beigemengten Kohlensäure zu befreien, mit Kalilauge getränkte Bimssteinstücke ent-

Fig. 62.



Apparat zur Absorption der Atmungskohlensäure. (Nach Sachs.)

hält. Zur Kontrolle ist die Flasche b eingeschaltet, welche Barytwasser enthält und die geringste Menge Kohlensäure durch Trübung anzeigen würde. Die kohlensäurefreie Luft tritt in den Rezipienten c und streicht über die Samen, welche Kohlensäure abgeben. Durch den Luftstrom wird die ausgeatmete Kohlensäure in die Flaschen d und e geführt, welche Barytwasser enthalten. Hier wird die Kohlensäure absorbiert, indem ein Niederschlag von kohlensaurem Baryt entsteht.

Ganz in derselben Weise, wie die zu diesen Experimenten benutzten chlorophyllfreien Pflanzenteile atmen auch die grünen Blätter. Am Tage tritt die Kohlensäureausatmung derselben hinter der Assimilation zurück, sie wird dagegen deutlich in der Dunkelheit, wo die Assimilation aufhört. Es ist ja eine allbekannte Thatsache, daß man Pflanzen nicht in Schlafzimmern kultivieren soll, weil dieselben nachts durch ihre Atmung die Luft mit Kohlensäure bereichern und dadurch verschlechtern. Was den Verlauf der Atmung bezüglich der Intensität betrifft, so atmen alle lebhaft wachsenden Pflanzenteile energischer als in Ruhe befindliche. Blätter und Knospen, die sich entfalten, Blüten, die sich öffnen, Keimpflanzen, die in lebhafter Streckung begriffen sind, atmen vor allem stark. Ruhende Knospen und Knollen, z. B. Kartoffeln, ferner Zwiebeln 2c. atmen nur wenig, die Atmung beginnt dagegen lebhaft zu werden, wenn diese Reservestoffbehälter austreiben, Triebe und Blätter erzeugen. Trockene Samen atmen, wie vorauszusehen, gar nicht, alles Leben ist ja in ihnen latent, weil das Wasser fehlt. Nach der Quellung dagegen beginnt die Kohlensäureabgabe und nimmt nun mit fortschreitender Keimung zu. Die Lebhaftigkeit der Atmung ist übrigens bei einer erwachsenen Pflanze nicht gleich in allen Organen. Die Blüten atmen im allgemeinen energischer als die grünen Blätter, diese heftiger als Stengel und Früchte.

Von der Menge der ausgeatmeten Kohlensäure, die ein bestimmtes Gewicht oder Volumen von Pflanzenteilen liefern kann, mögen die Daten einiger Beobachter eine Vorstellung geben.

12 Knospen von Syringa vulgaris, welche bei 110° getrocknet 2 gr wogen, atmeten in 24 Stunden 70 kc Kohlensäure aus. 5 Knospen von Aesculus makrostachya mit 0,85 gr Trockengewicht in 24 Stunden 45 kc Kohlensäure. Keimpflanzen von Papaver somniferum, welche getrocknet 0,45 gr wogen, gaben in 24 Stunden 45 kc Kohlensäure und Keimpflanzen des Senfs mit 0,55 gr Trockengewicht in derselben Zeit 32 kc Kohlensäure.

Es ist vorauszusehen, daß die Atmungsgröße der Pflanzen-

organe nicht unter allen Umständen dieselbe sein wird. Wie die Zunahme der Temperatur alle Lebensvorgänge flotter verlaufen läßt, so steigert sie auch die Atmung, die bei 25—30° C. am energischsten vor sich geht. Durch Abkühlung wird die Atmung verlangsamt, allein sie hört selbst bei 0° noch nicht ganz auf, so daß also beispielsweise die Bäume auch in der kälteren Jahreszeit eine schwache Atmungsthätigkeit besitzen.

Nur die Entziehung des Sauerstoffs selbst kann die Atmung ganz aufheben und die Erscheinungen, welche sich an solchen Pflanzen kund geben die vom Sauerstoff abgesperrt sind, beweisen zur Genüge die Unentbehrlichkeit des Atmungsvorganges für alle Lebensregungen. Alle Vorgänge, die das Leben bezeichnen, hören auf, wenn man die Atmung unterdrückt. Die Bewegung des Protoplasmas in den Zellen, eine der ausgesprochensten lebendigen Äußerungen steht still, wenn man den Sauerstoff abschneidet. Wachsende Organe halten inne mit ihrem Wachstum, wenn sie im Vacuum der Luftpumpe des Sauerstoffs beraubt werden. Samen, die sich in vollkommen luftfreiem Wasser befinden und in einem mit Stickstoff gefüllten Rezipienten gehalten werden, keimen nicht. Hat der Entwickelungsprozeß schon begonnen, so hört er auf, die Samen fangen, anstatt sich zu entwickeln an zu faulen und fallen der Zerstörung anheim. Weiden- oder Pappelzweige mit aufbrechenden Knospen hören auf diese zu öffnen, wenn sie in eine Stickstoffatmosphäre gebracht werden und fallen der Fäulnis anheim. Sauerstoff, Luft kann nicht entbehrt werden, wo Pflanzenteile sich entwickeln sollen, wo Wachstum stattfinden soll. Samen die keimen, Wurzeln die wachsen sollen, bedürfen der Luftzufuhr, um atmen zu können. Schon aus dem Grunde darf ein Boden, in welchem Pflanzen kultiviert werden, nicht mit Wasser gesättigt sein. Der Zutritt der Luft zum Boden würde dadurch gehindert. Um den Stamm der Bäume muß zu ihrem Gedeihen der Boden gelockert werden damit die Luft die Wurzeln erreichen und ihnen den für ihre Atmung nötigen Sauerstoff liefern kann.

Nicht minder, wie die genannten Lebensthätigkeiten, hört die Empfindlichkeit reizbarer Pflanzenorgane bei Sauerstoffentziehung auf. Die periodischen Bewegungen der Blätter beispielsweise werden sistiert und die Pflanzen geraten in einen Zustand der Starre. Eine Mimosa pudica unterläßt unter dem luftleer gemachten Rezipienten der Luftpumpe die periodischen Schwingungen ihrer Blättchen; sonst gegen Erschütterungen ungemein empfindlich und zum momentanen Zusammenneigen ihrer Blättchen und zum Senken ihrer Blattstiele veranlaßt, bleibt sie im luftleeren Raum gegen jeden Anstoß starr und unbeweglich. Die reizbaren Staubfäden der Berberitze (Berberis vulgaris), verlieren ihre Reizbarkeit durch Sauerstoffentziehung. Alle diese Organe können, wenn sie nach kurzer Zeit in sauerstoffhaltige Atmosphäre zurückgebracht werden, wieder vollkommen in ihren normalen, gesunden Zustand zurückkehren und überhaupt treten alle anderen durch Hemmung der Atmung sistierten Lebenserscheinungen wieder auf, wenn diese Hemmung nicht lange dauert. Ist aber das Gegenteil der Fall, so ersticken die Pflanzen ebenso, wie Tiere, denen man die Luft entzieht.

Besondere Organe der Atmung, wie das Tier in seinen Lungen, besitzt die Pflanze nicht. Der Eintritt des atmosphärischen Sauerstoffs wird, wie alle Gasaufnahme, durch die Spaltöffnungen ermöglicht. Die Luft verbreitet sich in alle Intercellularräume und die Zellen ziehen den Sauerstoff, dessen sie bedürfen, an sich.

Entgegengesetzt dem Ernährungsprozeß in den Blättern, in dem wir einen Reduktionsvorgang erblicken, ist die Atmung eine Oxydation. Sie ist eine langsame, dunkle Verbrennung, durch welche ein Quantum Pflanzensubstanz aufgezehrt wird. Der Sauerstoff bemächtigt sich des Kohlenstoffs und Wasserstoffs der pflanzlichen Körpersubstanzen, bildet Kohlensäure und Wasser, welche als Endprodukte der chemischen Wechselwirkung resultieren. Daß beide die einzigen Produkte wären, die bei der Atmung entstehen, ist nicht anzunehmen, sie sind aber die einzigen bis jetzt nachweisbaren.

Der Kohlenstoff der ausgeatmeten Kohlensäure entstammt der kohlenstoffhaltigen Pflanzensubstanz, allein mit dieser allgemeinen und selbstverständlichen Thatsache kann man sich nicht begnügen. Es sind im wesentlichen zwei Gruppen von Kohlenstoffverbindungen, welche eine namhafte Rolle in der Pflanze spielen, die Eiweißstoffe und die Kohlehydrate und es wirft sich die Frage auf, ob bei der Atmung beide Arten von Verbindungen zerlegt werden oder nicht. Die Atmung geht, wie alle Lebensvorgänge im Protoplasma vor sich, das lebendige Protoplasma ist es, welches atmet. Da könnte man nun zunächst an einen Zerfall der Eiweißmoleküle denken, die das Protoplasma mit bilden. Aus Boussingaults*) wichtigen Untersuchungen über diesen Gegenstand ergab sich aber das Resultat, daß bei der Atmung die stickstoffhaltigen Substanzen nicht an Menge abnehmen, selbst wenn durch die Atmung ein beträchtlicher Substanzverlust nachweisbar ist. Wenn nämlich, wie z. B. beim Wachsen von Keimpflanzen im Finstern keine Neubildung von organischer Substanz durch Assimilation stattfindet, so kann eine Pflanze mehr als die Hälfte ihrer organischen Substanz verlieren. Da aber trotz dieses Substanzverlustes das Stickstoffkapital auf seinem Stande erhalten bleibt, so ergiebt sich, daß die Zerstörung durch die pflanzliche Atmung sich nur auf die stickstofffreie Pflanzensubstanz erstreckt. Man drückt dies gewöhnlich einfach mit dem Satze aus, daß die Kohlehydrate veratmet werden, denn obgleich auch beispielsweise fetthaltige Samen bei ihrer Keimung atmen und Substanz verlieren, so werden doch, wie schon oben erwähnt, die Fette erst in Kohlehydrate verwandelt, so daß der Satz ganz allgemeine Geltung hat.

Es ist nun eine sehr schwierige Frage, wie man sich den chemischen Vorgang der Atmung zu denken hat, namentlich auf welche Weise der Angriff des Sauerstoffes auf die Pflanzensubstanz erfolgt. Bis vor einigen Jahren faßte man die Atmung

---

*) Boussingault, Comptes rendus 1864.

als eine langsame Verbrennung auf, die durch den einfachen Hinzutritt des Sauerstoffs im Protoplasma vor sich gehe. Heute kann man nicht mit so einfachen Vorstellungen an den Atmungsprozeß herantreten, nachdem bei den Pflanzen ganz wie bei den Tieren die sogenannte innere oder intramolekulare Atmung aufgefunden wurde. Diese innere Atmung war bei den Tieren von Pflüger 1875 aufgefunden worden. Es stellte sich nämlich heraus, daß ein Frosch, welcher sich unter einem mit Quecksilber abgesperrten Rezipicenten in vollständig sauerstofffreier Luft befand, dennoch ca. 11 Stunden noch weiterlebte und während dieser Zeit Kohlensäure ausatmete. Da diese Kohlensäure ohne Sauerstoffzutritt von außen stattfand, so mußte der Sauerstoff notwendigerweise der Körpersubstanz des Frosches entstammen und die Kohlensäurebildung, welche nur durch molekulare Änderungen der organischen Substanzen des Froschkörpers zu stande kommen kann, wurde aus diesem Grunde als innere oder intramolekulare Atmung bezeichnet.

Denselben Vorgang innerer Atmung kann man an Pflanzen beobachten. Keimpflanzen können tagelang in einer sauerstofffreien Atmosphäre verweilen und atmen dabei Kohlensäure aus, ohne daß Sauerstoff ihnen von außen zufließt. Die Pflanzen, obwohl sie ihr Wachstum einstellen, bleiben dennoch während der angegebenen Zeit lebendig und wenn man sie nachträglich in Erde pflanzt und in normale Bedingungen bringt, so fangen sie wieder an zu wachsen und gedeihen, als ob nichts geschehen wäre. Wenn man die Mengenverhältnisse der durch intramolekulare Atmung von Keimpflanzen in einem Vacuum erzeugten Kohlensäure in betracht zieht, so ergiebt sich das Resultat, daß die Pflanzen in den ersten Stunden eines solchen Versuches ebensoviel Kohlensäure liefern, wie bei der normalen Atmung entstehen würde. Allein diese Produktion nimmt schon nach einigen Stunden bedeutend ab. Die Pflanze kann also ohne den Zutritt des Sauerstoffs von außen doch nicht auf längere Dauer atmen, so daß also die Meinung, auf welche man etwa verfallen

könnte, daß die ganze Atmung der Pflanzen überhaupt eine intramolekulare Atmung wäre, fortfällt. Nichtsdestoweniger bleibt die Thatsache der innern Atmung bestehen und unser Bestreben richtet sich dahin, sie mit der normalen Atmung in sauerstoffhaltiger Luft in Beziehung zu bringen.

Die Pflanze kann eine Zeitlang ohne atmosphärischen Sauerstoff atmen, d. h. soviel als: dieser Sauerstoff ist es nicht, welcher den Anstoß zur Kohlensäurebildung bei der Atmung giebt, für die Auslösung der Atmung ist atmosphärischer Sauerstoff entbehrlich. Längere Zeit in sauerstofffreier Luft gehalten, hört aber die Pflanze auf zu atmen und setzt diesen Prozeß nur fort, wenn Sauerstoff von außen zutreten kann, d. h. der atmosphärische Sauerstoff ist zur dauernden Unterhaltung der Atmung unbedingt notwendig.

So wird also durch die Kenntnis der intramolekularen Atmung der ganze Prozeß der pflanzlichen Atmung erst in klareres Licht gerückt und man hat sich etwa folgende Vorstellung darüber zu machen. Innerhalb des Protoplasma findet durch die Atmung ein Zerfall der Protoplasmasubstanz statt, bei welcher neben Wasser Kohlensäure gebildet und ausgeatmet wird, während die übrigen, namentlich die stickstoffhaltigen Zerfallprodukte im Protoplasma verbleiben. Das zerfallene Protoplasma muß regenerirt werden und dazu werden zunächst Kohlehydrate verbraucht. Die letzteren müssen also bei der Regeneration des Protoplasma sich vermindern und das Verschwinden von Kohlehydraten bei der Atmung erscheint erklärlich. Bei der Regeneration der durch die intramolekulare Atmung neben Kohlensäure und Wasser entstehenden Produkte greift aber nun zugleich der freie Sauerstoff ein, da wie die Thatsachen lehren, die bei der intramolekularen Atmung neben Kohlensäure und Wasser auftretenden Zerfallprodukte nicht mehr gebildet werden, wenn dem äußern Sauerstoff der Zutritt ermöglicht ist.

Aus alle dem geht hervor, daß es sich bei der Atmung nicht um einen einfachen Eintritt von Sauerstoff in den Pflanzen-

körper mit darauffolgender Bildung von Kohlensäure handelt, sondern daß die Atmung ein äußerst verwickelter Prozeß ist, in welchem uns die volle, klare Einsicht heute noch mangelt.

Soviel scheint aber aus allem hervorzugehen, daß man die intramolekulare Atmung als Ursache des ganzen Atmungsprozesses, die Aufnahme des atmosphärischen Sauerstoffs als Folge anzusehen hat, die unbedingt verlangt wird, um das Getriebe der Atmung perpetuierlich im Gange zu halten.

Der Zweck der ganzen Atmung ist, dem Organismus die bewegenden Kräfte zu liefern, durch welche überhaupt der Stoff sich zu dem Bau des Organismus zusammenfügt. Nur von diesem Gesichtspunkt aus gewinnt der während des ganzen Lebens einer Pflanze dauernde Stoffverlust durch die Atmung, der neben dem Stoffgewinn durch die Assimilation herläuft, einen bestimmten Sinn. Eine kleine Quantität des Stoffes wird zerstört, damit die freiwerdenden Kräfte disponibel werden, um die träge Materie in Bewegung zu setzen und in dieser Bewegung eben das zu erzeugen, was wir Leben nennen.

Wir können damit die Atmung noch nicht ganz verlassen. Es handelt sich nämlich noch darum, auf ein wichtiges Symptom der Atmung aufmerksam zu machen, welches sich unmittelbar nur sehr selten der Beobachtung aufdrängt: die Wärmeerzeugung in atmenden Pflanzenteilen. Die Atmung ist als eine Verbrennung bezeichnet worden und sie ist, wie andere Verbrennungen mit Wärmebildung verbunden. Das läßt sich nun nicht ohne weiteres an jedem Blatte wahrnehmen. Es ist im Gegenteil bekannt, daß die Pflanzen sich im allgemeinen kühl anfühlen, also eine niedrigere Temperatur besitzen als ihre Umgebung. Das findet aber bei den Blättern schon seine Erklärung durch ihre lebhafte Verdunstungsthätigkeit, durch welche notwendig Wärme gebunden wird. Um die Wärmebildung bei der Atmung zu veranschaulichen, wird man sich an solche Fälle halten, wo die Atmung besonders energisch ist und diese günstigen Verhältnisse findet man, wie schon erwähnt, bei Pflanzenteilen, welche

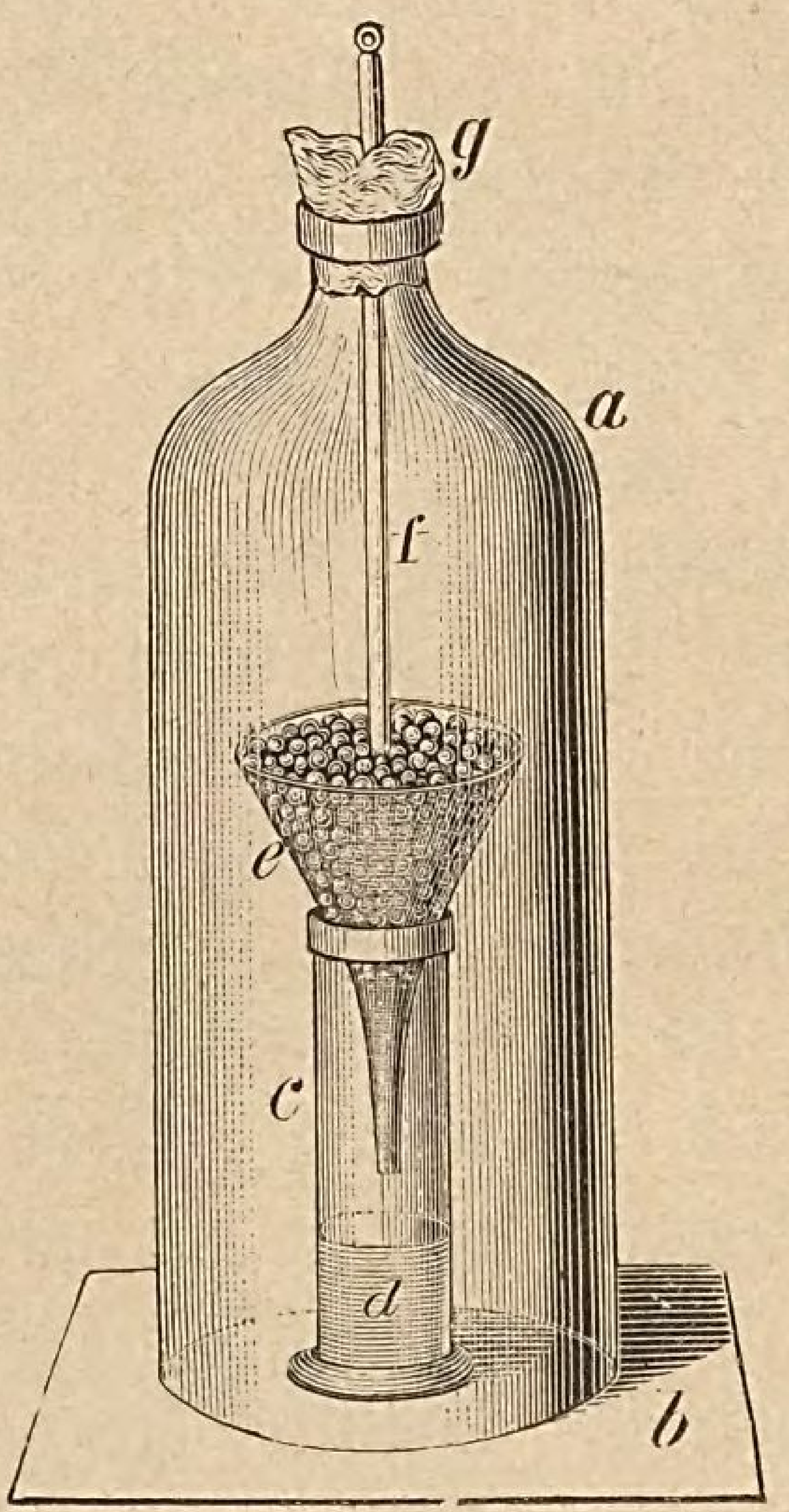
in lebhafter Entwickelung begriffen sind, bei keimenden Samen, aufbrechenden Knospen u. s. w. Natürlich ist immer noch die Wärmemenge, die eine atmende Keimpflanze oder eine Blüte erzeugt, viel zu gering, um sie etwa durch ein Thermometer nachweisen zu können. Häuft man aber keimende Samen oder Blüten in großer Menge zusammen und schützt sie vor Abkühlung, so addieren sich die Wärmemengen und schon durch ein Thermometer kann man sich von der Temperaturerhöhung überzeugen.

Die Anordnung, welche Fig. 63 abbildet, erläutert, wie man einen solchen Versuch anstellen kann. Der auf dem Glascylinder c befindliche Trichter e enthält keimende Samen, z. B. Erbsen. Mit der Glasglocke a, welche auf der Glasplatte b aufsteht, ist das Ganze bedeckt, um die Abkühlung durch Ausstrahlung zu vermindern. In den offenen Hals der Glocke ist ein Bausch Baumwolle gesteckt, welcher das Thermometer f in seiner Lage erhält, zugleich aber der atmosphärischen Luft Zutritt in die Glocke gestattet. Dies ist nötig, damit die Atmung der Samen nicht gehemmt wird. Zur Absorption der bei der Atmung gebildeten Kohlensäure dient eine kleine Menge Kalilauge d, welche der Cylinder c enthält. Man vergleicht die durch das Thermometer f angezeigte Temperatur mit einem ihm völlig gleichen, welches man in einem ganz ebensolchen Apparat wie Fig. 63 aufstellt, dessen Trichter aber statt der Pflanzen etwa feuchtes Filtrierpapier oder dgl. enthält, damit die Verhältnisse möglichst gleiche sind. Es wird sich bei den keimenden Erbsen etwa eine Erhöhung der Temperatur von 1,5—2° ergeben.

Das scheint kein frappierendes Resultat zu sein, obgleich die Temperatursteigerung im Hinblick auf die kleine Menge der Samen, welche man nur in den Apparat bringen kann, eine nicht unbeträchtliche ist. Es giebt aber auch eklatantere Beispiele. Zunächst kann man schon da, wo sehr große Mengen keimender Samen zusammengehäuft werden, wie z. B. beim Keimen der Gerste für die Malzbereitung erheblichere Temperatursteigerungen von 6—10° C. wahrnehmen, wobei noch zu berücksichtigen

ist, daß auf den Malztennen durch Verdunstung und Strahlung viel Wärme verloren geht. Die bedeutendsten Temperaturen sind schon seit älteren Zeiten an den Blütenkolben der Aroideen beobachtet worden. Der von einer Blattscheide umhüllte Blütenkolben, an dem zahlreiche Blüten dicht gedrängt sitzen, atmet lebhaft und erwärmt sich dabei so stark, daß es nicht einmal eines Thermometers bedarf, um dies zu bemerken, sondern daß schon das Gefühl hinreicht. Große Blütenkolben erwärmen sich 4—5, 10—12, ja 15 und mehr Grade C. über die Temperatur der umgebenden Luft. Auch an anderen großen Blüten hat man sehr bedeutende Erwärmung beobachtet, z. B. erwärmt sich die Blüte von Victoria regia um 6—11° R.

Fig. 63.



Erhöhung der Temperatur bei der Atmung.

Die Wärmebildung bei der Atmung der Pflanzen ist ein wichtiger Punkt, welcher noch eine Bestätigung der Identität der tierischen und pflanzlichen Atmung liefert.

In sehr seltenen Fällen ist die Atmung sogar von Lichterscheinungen begleitet, welche man als Phosphorescenz der Pflanzen bezeichnet hat. Dies Leuchten ist jedoch bisher nur an Pilzen wahrgenommen worden. So leuchten z. B. die Rhizomorphen, das Mycelium des Hallimasch, welches im Holze der Bäume lebt und dies zerstört. Holz, welches von diesem Mycel durchwuchert ist, leuchtet dann im Dunkeln, doch ist es eben nicht eine Eigenschaft des Holzes selbst, sondern des darin wachsenden Pilzes. Ganz besonders sollen sich nach Berichten von Reisenden einige tropische Pilze durch Phosphorescenz auszeichnen, z. B. der Agaricus igneus auf Amboina und Agaricus noctileus auf Manila.

Die Ernährung der chlorophyllfreien Pflanzen, der Parasiten und Saprophyten.

Bei jeder Gelegenheit muß, wenn man sich mit der Pflanzenernährung beschäftigt, das Chlorophyll als die wichtigste Vorbedingung aller Ernährungsvorgänge hervortreten. Genugsam wurde in den vorhergehenden Kapiteln hervorgehoben, daß einer Pflanze nur im Chlorophyll die Möglichkeit gesichert ist, sich von Kohlensäure, Wasser und Salzen zu ernähren. Verhindert man eine sonst grüne Pflanze, Chlorophyll zu bilden, indem man sie etiolieren läßt, so geht sie zu grunde. Dem allem gegenüber muß es im ersten Augenblick frappierend erscheinen, daß es auch Pflanzen giebt, welche während ihres ganzen Lebens niemals Chlorophyll besitzen und welche dennoch leben und wachsen, blühen und Samen bilden, sich also auch ernähren müssen. Im Gegensatz zu den grünen Pflanzen, welche bei jedem Gang ins Freie auffallen, entgehen die chlorophylllosen Pflanzen viel leichter der allgemeinen Aufmerksamkeit, woraus man allerdings nicht den Schluß ziehen darf, daß sie nur vereinzelte Ausnahmen bilden. Ihre Menge ist im Gegenteil sehr groß, nur besteht das Hauptkontingent chlorophyllloser Pflanzen, die Pilze, zum Teil aus sehr kleinen unscheinbaren, meistens sogar mikroskopisch kleinen Pflanzen. Häufig genug kann man aber trotzdem mehr in die Augen springenden chlorophylllosen Pflanzen begegnen. Es gehören dahin z. B. die phanerogamen Schmarotzer, wie die Klee- oder Flachsseide, welche sehr häufig auf Kleeäckern als ein mit fadenförmigem Stengel die Kleepflanzen umwindendes bleiches Gewächs mit schuppenförmigen kleinen Blättern und Knäueln kleiner Blüten sich findet. Trotzdem sich von den Pilzen viele Arten ihrer Kleinheit wegen verbergen, so giebt es doch auch unter diesen ganz stattliche und recht sichtbare Formen. Es braucht nur an das ganze Heer der Hutpilze, der Champignons erinnert zu werden, welche nicht nur durch mannigfache, zum Teil sonderbare Formen, sondern auch durch ihre lebhaften

Farben, dem Waldspaziergänger auffallen. Niemand wird Bedenken tragen, alle diese Gewächse als Pflanzen anzuerkennen, wenn sie auch ganz entschieden einen fremdartigen Eindruck gegenüber den grünen Pflanzen machen, eben besonders dadurch, daß sie nicht grün sind. Und in der That ist dies nicht nur der auffallendste äußere Unterschied von den übrigen Pflanzen, sondern ein so wesentlicher Faktor, daß er die ganzen Verhältnisse der Gestaltung und des Lebens dieser Pflanzen beherrscht. Die meisten Schmarotzerpflanzen sehen schon deshalb so fremdartig aus, weil ihnen die Blätter ganz fehlen oder doch zu kaum nennenswerten farblosen Schüppchen verkümmert sind. Wozu sollten auch die Schmarotzer ohne Chlorophyll Blätter besitzen. Wir haben ja gesehen, daß das Blatt nur als Träger des Chlorophylls Bedeutung hat. Die Flächenentwickelung der Blätter und der chlorophyllhaltigen Gewebe ist ja nur des Chlorophylls wegen vorhanden und dementsprechend fehlt eben den chlorophylllosen Pflanzen die Flächenentwickelung, es sind einfach cylindrische Formen, oft gedrungene Gestalten von dicker massiger Beschaffenheit, wie z. B. die Hutpilze. Aber auch deshalb sind die Blätter und blattartige Flächen für die Schmarotzer ganz überflüssig, weil für sie eine lebhafte Transpiration, welche bei den grünen Pflanzen durch ihre Blätter unterstützt und geregelt wird, nicht in Betracht kommt. Denn die Transpiration hängt, wie wir früher gesehen haben, mit der Kohlensäurezersetzung innig zusammen. Den Schmarotzern könnte die lebhafte Transpiration höchstens schädlich sein. Fehlt aber die energische Transpiration, so ist auch die Wasserströmung in den bleichen Pflanzen nur gering und deshalb brauchen sie kein so entwickeltes Organ für die Wasserleitung wie es die grünen Gewächse besitzen. Daraus erklärt sich die mangelhafte Holzbildung in den Stengeln der chlorophylllosen Schmarotzer, unter ihnen finden wir keine Holzpflanzen, die höher organisierten unter ihnen sind krautartige Gewächse und die Pilze haben, wie bekannt, ebenfalls aus weichen Gewebemassen aufgebaute Körper. Endlich

ist auch ihre Wurzelbildung eine sehr mangelhafte im Vergleich zu den grünen Pflanzen und wiederum deshalb weil ihnen das Chlorophyll fehlt. Die Wurzel der grünen Pflanzen nimmt Wasser und Bodensalze auf, damit die Kohlensäurezersetzung vor sich gehe. Die chlorophylllosen Pflanzen zersetzen keine Kohlensäure und wenige unvollkommene Wurzeln reichen für die Gewinnung ihres geringen Wasserbedarfs aus. So werden denn alle die abweichenden Gestaltverhältnisse begreiflich aus dem Chlorophyll-mangel und die Herrschaft des Chlorophylls reicht unendlich weiter, als es auf den ersten Blick erscheint. Es ist in der That das Bestimmende, nach welchem Gestalt und Leben einer Pflanze sich richten muß.

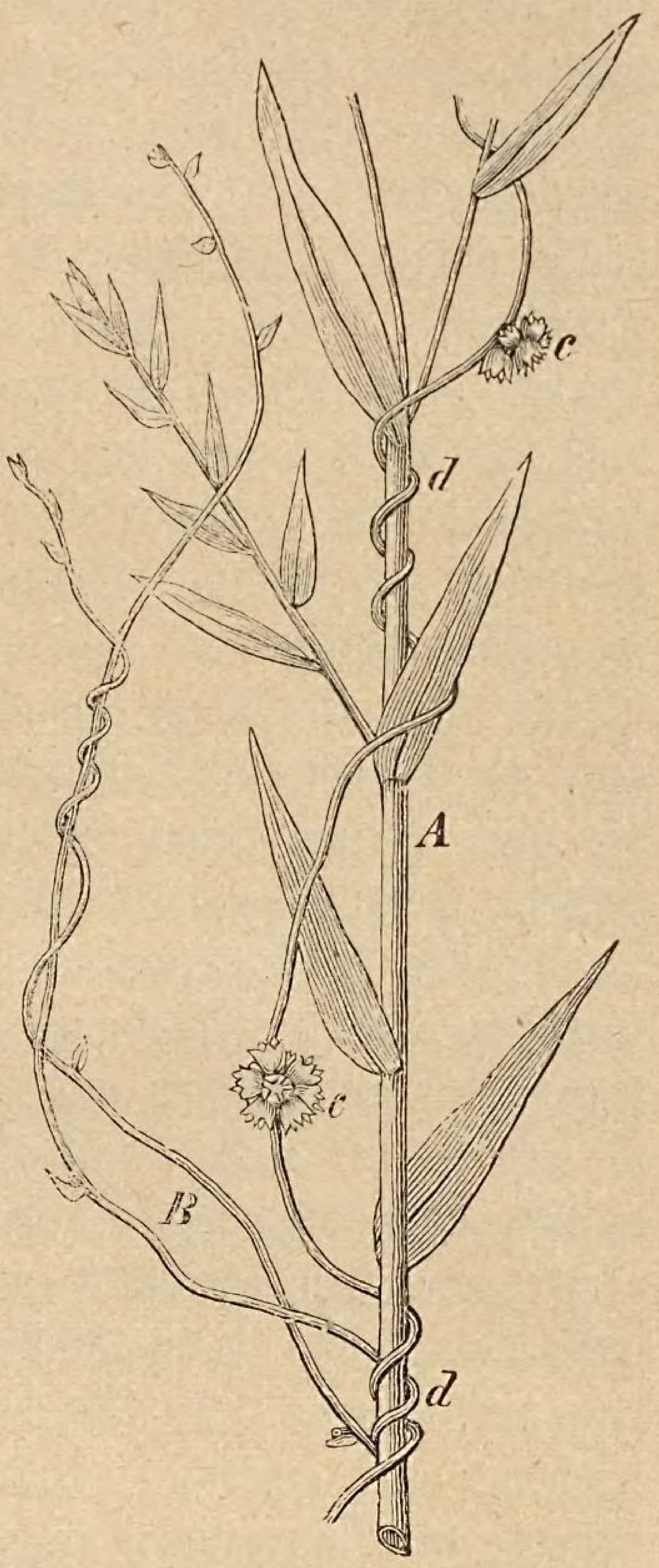
Mit den Prinzipien der Ernährungslehre vertraut, ergiebt sich nun ganz von selbst die Folgerung, daß die chlorophyll-freien Pflanzen sich notwendig auf eine ganz andere Weise ernähren müssen, als die grünen Gewächse, und so ist es auch in der That. Ihnen geht mit dem Chlorophyll die Fähigkeit ab, sich aus Kohlensäure und Wasser organische Substanz selbst zu erzeugen, und sie sind genau in derselben Weise, wie die Tiere auf die organische Nahrung angewiesen, welche grüne Pflanzen durch die Thätigkeit ihres Chlorophylls erarbeitet haben. Sie sind von der Existenz der grünen Pflanzen ebenso abhängig, wie es die Tiere sind. Auf zweierlei Art können die Schmarotzer das Nährmaterial erlangen, welches grüne Pflanzen in ihren Kohlehydraten und Eiweißstoffen erworben haben. Einmal fallen sie einfach über solche Chlorophyllpflanzen her und berauben sie als Schmarotzer ihres Eigentums an organischen Nährstoffen, wobei sie natürlich das Gedeihen der befallenen Pflanzen schädigen, meistens dieselben sogar rücksichtslos zu grunde richten, oder sie benutzen die Mengen organischer Substanz, welche durch das jährliche Absterben lebendiger Wesen sich überall anhäufen und werden Fäulnisbegleiter und Fäulniserreger. Diejenigen chlorophyllfreien Pflanzen, welche lebende Wesen anfallen und auf oder in ihnen leben, hat man als Parasiten bezeichnet, nennt dagegen

die von Substanzen abgestorbener Organismen sich nährenden, Koprophyten oder Saprophyten. Es ist das nur eine rein äußerliche Unterscheidung. Im Prinzip ist die Ernährungsweise der Parasiten und Koprophyten ganz gleich, es handelt sich in beiden Fällen um Ernährung mittels fertig gebildeter organischer Substanzen und ernährungsphysiologisch ist es natürlich dasselbe, ob diese organische Substanz anderen Organismen während ihres Lebens oder nach ihrem Tode entnommen wird. Es ist übrigens noch hinzuzufügen, daß die chlorophyllfreien Pflanzen gar nicht auf Pflanzen und Pflanzenstoffe angewiesen sind, sondern auch die organischen Stoffe als Nahrung benutzen können, welche am Aufbau des Tierkörpers teilgenommen haben. Wenn man sich daran erinnert, daß der Tierkörper doch nur umgewandelte Pflanzensubstanz ist, so hat es auch nichts auffallendes, daß eine Menge Pilze entweder lebendige Tiere befällt oder deren Leichen aufzehrt.

Während die Ernährung der Chlorophyllpflanzen in stiller friedlicher Weise vor sich geht, entwickelt sich bei der Ernährung der chlorophyllfreien ein sehr bemerkbarer und konsequenter Kampf ums Dasein, in welchem der angegriffene Teil meistens unterliegt. Teils ist es die besondere Organisation der chlorophyllfreien Gewächse, welche sie bei solchen Angriffen unterstützt, teils sind es Eigenschaften ihres Protoplasma und dadurch bedingte chemische Wirkungen, welche sie in den Stand setzen, fremdes Gut sich anzueignen. Das möge nun durch einige Beispiele erläutert werden, zu denen wir zuerst einige phanerogame Parasiten auswählen. Fragt man danach, wie der Parasit mit der Pflanze, welche er befällt, mit seinem Wirt, in Verbindung tritt, so geschieht das in sehr verschiedener Weise. Ein Parasit kann sich seinem Wirt gegenüber als ziemlich selbständige Pflanze benehmen, indem sein Stengel, der später die Blüten und Samen trägt, vollständig frei und von der Wirtspflanze getrennt existiert und nur an bestimmten Stellen eine innigere Verbindung mit dem Wirte hergestellt hat. So ist es z. B. bei unserer Cuscuta,

der Flachsseide, welche in Fig. 64 abgebildet ist. Sie umschlingt in unserer Abbildung den Leinstengel A scheinbar ganz harmlos mit ihrem windenden Stengel, welcher kleine blattartige Schüppchen und bei c Blütenknäuel trägt. Aber an den Stellen, wo die Windungen dem Leinstengel fester anliegen, z. B. bei d in der Figur, treibt der Stengel der Cuscuta wurzelartige Bildungen in das Gewebe der Wirtpflanze hinein. In ihrer Form haben diese Saugorgane mit gewöhnlichen Wurzeln kaum mehr eine äußere Ähnlichkeit und nur das mit ihnen gemein, daß sie auch in das Substrat eindringen, um die Nährstoffe der Wirtspflanze zu entziehen. Man bezeichnet die Saugorgane der Parasiten deshalb auch lieber mit dem besonderen Namen Haustorien.

Fig. 64.



Die Flachsseide, Cuscuta Epilinum. A Stengel der Leinpflanze auf dem die Cuscuta B schmarotzt. Bei d gehen die Haustorien in den Stengel des Wirtes. c) Blüten der Cuscuta.

Es bleibt aber nicht bei einem einfachen Eindringen dieser Haustorien in den Stengel der Nährpflanze, dieselben treten vielmehr mit den Geweben der Wirtspflanze in feste Verbindung, indem sie förmlich mit derselben verwachsen. Tief hinein dringt das Haustorium bis in den Holzkörper des Wirtes, mit dem die Gefäße des Saugorganes in vollständige Verbindung treten. Nun ist gleichsam eine Straße angelegt, auf der die Stoffe aus

dem Wirt durch das Haustorium in den Parasiten wandern, der Strom der plastischen Stoffe ist abgeleitet durch den Schmarotzer. So hängt denn der Cuscutastengel durch seine Haustorien an dem Leinstengel fest, ohne mit einer eigenen Wurzel im Boden zu haften, denn die Keimwurzel, welche der Cuscutasame bei der Keimung in den Boden treibt, ist längst abgestorben, da sie ja ganz unnötig ist. Der Boden ist für die Cuscutapflanze jetzt der Leinstengel, aus ihm zieht sie alle Stoffe, welche sie zu ihrer Ernährung bedarf. Wenn auch die Nährpflanze zunächst den Verlust durch ihre Assimilation wieder decken kann, so wird sie doch schließlich in der Regel von dem Parasiten überwältigt, da eben durch diesen bedeutenden Eingriff in ihre normale Lebensthätigkeit, die Pflanze überhaupt erkrankt und ihre Funktionen so gestört werden, daß endlich auch der Stoffverlust nicht mehr gedeckt wird und sie zu grunde geht. Damit ist dann natürlich auch die Existenz des Parasiten bedroht, der aber gewöhnlich in der Lage ist, ein neues Individuum anzufallen und durch seine weitere Vegetation die umfassendsten Verwüstungen anrichtet. In ähnlicher Weise verbinden sich andere auf Wurzeln schmarotzende Parasiten, wie die Orobanchen u. s. w. mit ihren Wirten durch Haustorien und bleiben mit ihren übrigen Organen ganz für sich, so daß es oft nicht leicht ist, die Verbindung mit der Nährpflanze unter dem Boden aufzufinden. In einigen ganz besonders bemerkenswerten, ebenfalls aber phanerogamische Schmarotzer betreffenden Fällen ist die Verbindung des Parasiten mit dem Wirt eine viel innigere. Er lebt dann mit seinem ganzen Körper, der übrigens nur einfache Zellfäden darstellt, vollständig in dem Gewebe der Nährpflanze eingeschlossen. So machen es die tropischen Rafflesiaceen, welche nur zur Zeit, wo sie blühen wollen, ihre Blüten ins Freie senden. Diese brechen dann einfach an den Blattachseln des Wirtes durch, so daß es aussieht, als ob die Blüten dem Wirte angehörten.

Was nun die Aufnahme der organischen Nahrung durch den Parasiten anbetrifft, so ist darüber noch wenig im einzelnen

bekannt. Es leuchtet aber ein, daß dieselbe die größte Ähnlichkeit hat mit der Ernährung einer Keimpflanze durch das Endosperm des Samens oder mit der Ernährung eines aus einer Knolle oder Zwiebel austreibenden Sprosses. Wie hier die schon fertig gebildeten organischen Baustoffe von den Keimsprossen und Wurzeln verbraucht werden, so saugt der Schmarotzer aus seiner Wirtspflanze die plastischen Stoffe auf. Stärke und andere Kohlehydrate wandern aus der Nährpflanze in den Parasiten ein und dienen zum Aufbau seines Protoplasma und seiner Zellwände. Es ist wohl möglich, daß die phanerogamen Parasiten auch Eiweißstoffe aus ihren Nährpflanzen aufnehmen, obgleich sie wohl ohne Zweifel diese in ihrem eigenen Organismus erzeugen können, da sie das Material an Kohlehydraten und anorganischen Stickstoffverbindungen aus der Nährpflanze beziehen. Die besonderen Lebensgewohnheiten der einzelnen Parasiten sind nun sehr verschieden, so schmarotzen manche nur auf ganz bestimmten Pflanzenarten, wie z. B. die Flachsseide, Cuscuta Epilinum, nur auf Flachs lebt, während andere auf ganz verschiedenen Arten und Gattungen sich heimisch machen können, wie die gemeine Seide, Cuscuta europaea, welche auf Kartoffeln, Nesseln, Hopfen, Hanf, auf Weiden, jungen Pappeln, auf Eisenhut, Rainfarrn u. s. w. sich ansiedelt.

Noch viel schwieriger lassen sich Einzelheiten über die Aufnahme der organischen Nahrung der Koprophyten mitteilen. Sie leben nicht auf lebenden Pflanzen, sondern auf oder zwischen vermodernden Pflanzenresten, aus denen sie die für sie nutzbaren Substanzen ohne Zweifel aufnehmen. Bei ihnen finden sich keine Haustorien, welche in Pflanzenteile eindringen, sie sind zum Teil mit Wurzeln ausgerüstet, die jedenfalls als Organe für die Aufnahme der Stoffe aus den humosen Resten des Bodens dienen. Zu diesen Humusbewohnern gehören einige Orchideen, wie Neottia nidus avis, deren brauner Blütenstengel in Wäldern häufig angetroffen wird und andere.

Alle diese Schmarotzer sind durch den Mangel des Chloro-

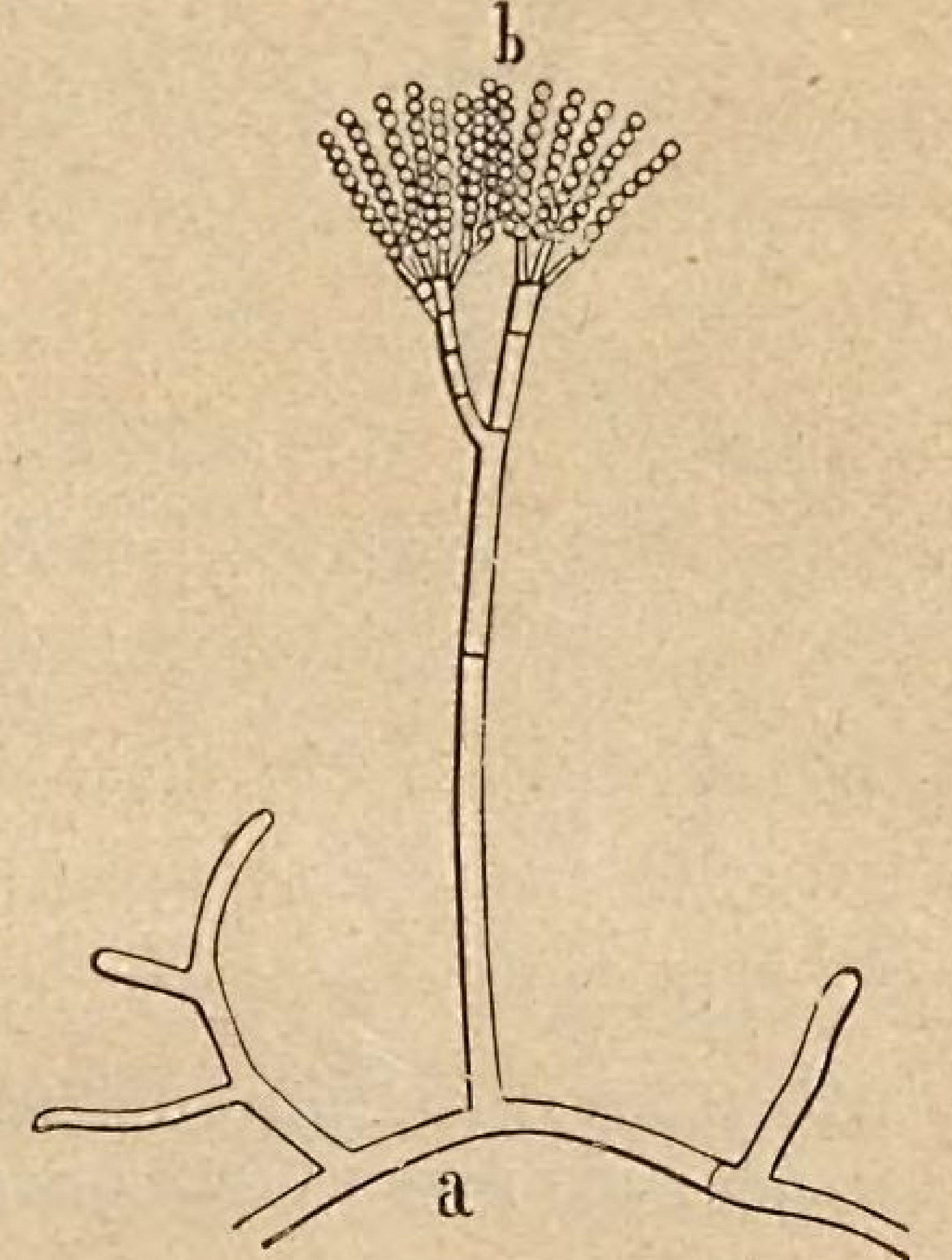
phylls auf die Lebensweise, welche sie führen, angewiesen. Merkwürdig ist es, daß auch einige Chlorophyllpflanzen, obgleich sie dies eigentlich nicht nötig haben, trotzdem auf anderen Pflanzen schmarotzen, worauf, wenn hier auch nur von der chlorophyllfreien Schmarotzern besonders die Rede ist, bei dieser Gelegenheit wenigstens hingewiesen sei. Mehrere mit vollständig grünen Blättern ausgerüstete Pflanzen, z. B. Rhinanthus und Thesium dringen mit kleinen Haustorien in die Wurzeln anderer Pflanzen ein. Besonders ist aber als chlorophyllhaltiger Schmarotzer die so häufig vorkommende Mistel zu nennen, welche auf Apfelbäumen, Roßkastanien, Pappeln u. a Bäumen schmarotzt, mit ihren Wurzeln in Rinde und Holz der Bäume eindringt, aber wohl vorzugsweise denselben nur Wasser und Mineralstoffe entzieht, da ihr Chlorophyll vollständig ausreicht, ihre organische Substanz selbst zu produzieren.

Von viel allgemeinerem Interesse als die phanerogamen Schmarotzer sind die Pilze, schon durch ihre vielfachen Eingriffe in menschliche Verhältnisse und Einrichtungen. Durch Angriffe auf die vom Menschen besonders geschätzten Pflanzen auf die Kulturpflanzen fordern sie zu einem Kampfe gegen ihr Treiben auf und Land- und Forstwirtschaft hat sich dem eingehendsten Studium, gerade dieses Heeres der chlorophyllfreien Schmarotzer mit Eifer zugewendet, um daraus Mittel zur Abwehr dieser Feinde zu finden. Der Erfolg ihrer Bekämpfung wird besonders dadurch sehr erschwert, als es gerade die mikroskopischen Pilze sind, welche am allerschädlichsten werden. Sie haben gewöhnlich ihr Zerstörungswerk schon vollbracht, ehe man sie überhaupt bemerkt. Die sich überall hervordrängenden großen Hutpilze sind dagegen ziemlich harmlos, da sie mit Ausnahme einiger, allerdings sehr schädlicher Zerstörer meist von vermodernden Pflanzenresten leben.

Verhältnismäßig unschädlich sind auch unsere gemeinen Schimmelpilze, welche sich zwar überall eindrängen, aber doch im allgemeinen Substanzen sich aneignen, welche der Zerstörung

ohnehin geweiht sind. Wo alte Speisereste und ähnliches vorhanden ist, da sind sie bei der Hand und sind so eigentlich eine Art Ordnungspolizei, auf deren Mahnung auch gewöhnlich geachtet wird. Die grauen und grünlichen Rasen, welche verschimmelten Substanzen ein so wenig anziehendes Aussehen geben, bestehen nun aus unzähligen mikroskopischen Pilzpflänzchen. Betrachtet man unseren Hausgenossen den gemeinen Schimmel (Penicillium glaucum) unter dem Mikroskop, so sieht man, daß die über dem Substrat sich erhebenden Rasen aus senkrecht aufgerichteten farblosen Fäden bestehen, welche an ihrer Spitze mit auseinanderspreizenden Reihen kleiner Kügelchen besetzt sind, so daß das Ganze mit einem Pinsel entfernte Ähnlichkeit hat. Diese Kügelchen sind Fortpflanzungszellen, Conidien genannt, die durch jeden Luftzug überall hingeführt werden und wenn sie auf ein geeignetes Substrat, auf feuchtes Brot, auf Früchte u. s. w. fallen, in wenigen Tagen wieder neue Schimmelrasen erzeugen. Durch diese leichte Verbreitung der Conidien ist den Schimmelpilzen die freieste Verbreitung ermöglicht und daher erscheinen sie denn überall ganz von selbst, wo nur ein passendes Substrat sich findet. Wenn nun eine solche Conidie irgendwo auf feuchtes Brot oder Speisereste ꝛc. hinfällt, so wächst diese kleine Zelle zu einem einfachen Faden aus, der sich aber alsbald vielfach verzweigt, wie eine Wurzel auf dem Substrat hinkriecht und in dasselbe eindringt. In der That kann man diese Fäden mit den Wurzeln höherer Pflanzen insofern vergleichen, als durch sie der Pilz die Nährstoffe des Substrates, auf welchem er wächst, aufnimmt, man benennt sie aber mit dem besonderen Namen Mycelium.

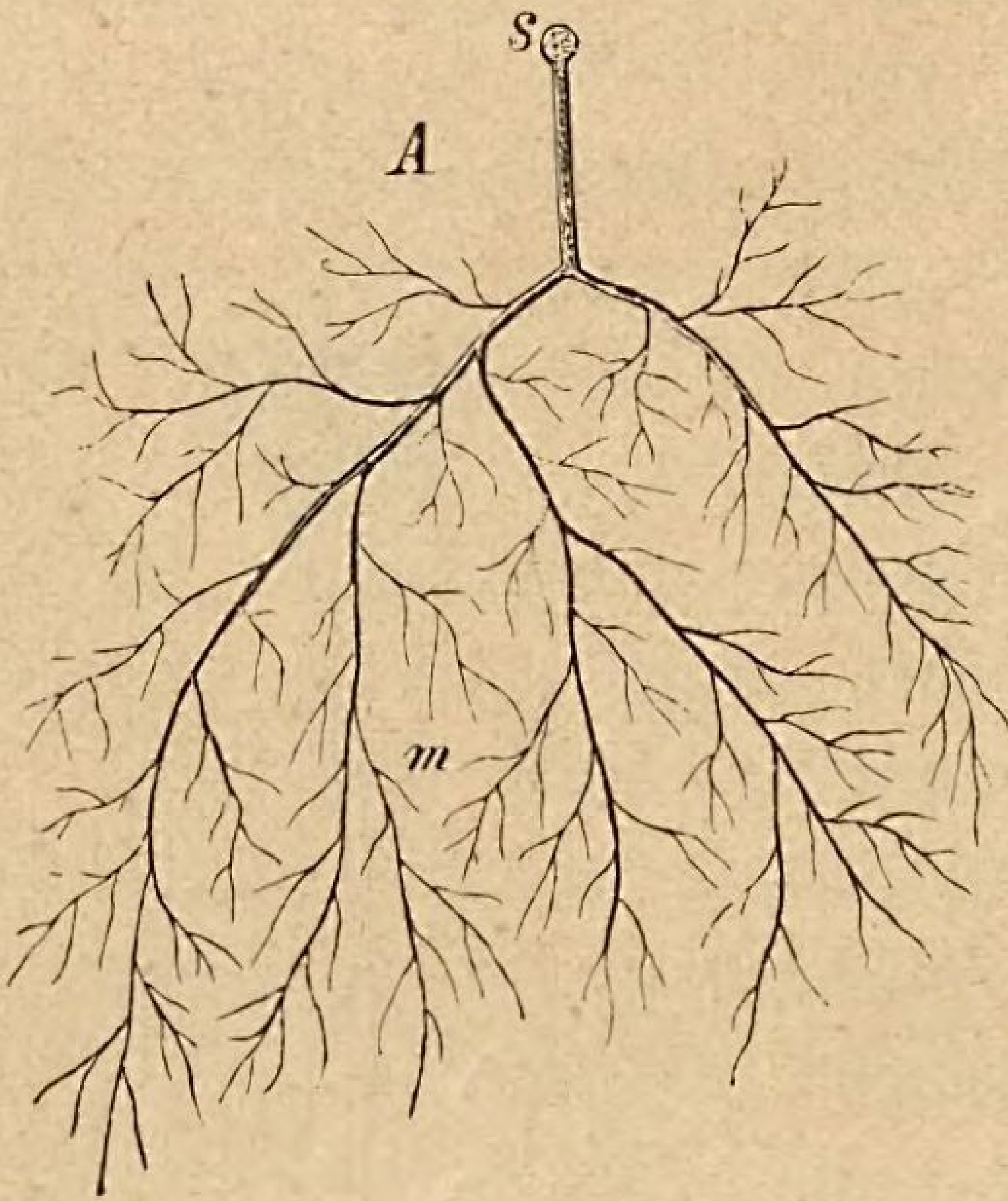
Fig. 65.



Gemeiner Pinselschimmel Penicillium glaucum. a) Mycelium. b) Conidienträger mit Reihen von Conidien.

Alsbald erheben sich von diesem Mycel zahlreiche Sprossungen senkrecht in die Höhe. Es sind das ebenfalls nur einfache Fäden, die aber nun auf ihrer Spitze die Conidienreihen durch einfache Abschnürung erzeugen. Doch ist das nicht bei allen Schimmelpilzen ganz gleich. Die Mucorarten erzeugen ihre Conidien in einer kugelförmigen Hülle, welche später zerreißt und die Conidien entläßt.

Fig. 66.



Mycelium eines Schimmelpilzes (Mucor) mit einem jungen Conidienträger x.

Für die Ernährung ist nun das Mycelium der Pilze dasjenige, was besonders ins Auge zu fassen ist. Durch die Thätigkeit desselben wird das befallene Substrat auf die mannigfachste Weise zersetzt und die Produkte von den Pilzen aufgesogen. Die Kohlehydrate, welche ein Stück Brot enthält, werden gelöst, aufgenommen und ernähren den Pilz, welcher weiter und weiter kriecht und dabei stets neue Fortpflanzungszellen erzeugt, aus denen wieder Billionen solcher Rasen entstehen können. Natürlich ist es schwer, sich durch diese einfachen Beobachtungen von den Einzelprozessen, welche bei dieser Ernährung der Pilze vor sich gehen, eine Vorstellung zu verschaffen. Unsere Einsicht ist durch künstliche Ernährungsversuche mit Pilzen von Nägeli*) gefördert worden. Wie man Chlorophyllpflanzen in künstlicher Nährlösung erziehen kann, so gelingt dies auch mit Pilzen. Nur muß natürlich eine solche Nährlösung eine andere Zusammensetzung haben, sie muß außer den Mineralstoffen auch Kohlenstoffverbindungen enthalten, da die Pilze nicht imstande sind, aus der Luftkohlensäure Stärke zu bilden, wie die grünen

*) Nägeli, Die niederen Pilze. München 1876 u. Untersuchungen über niedere Pilze, 1882.

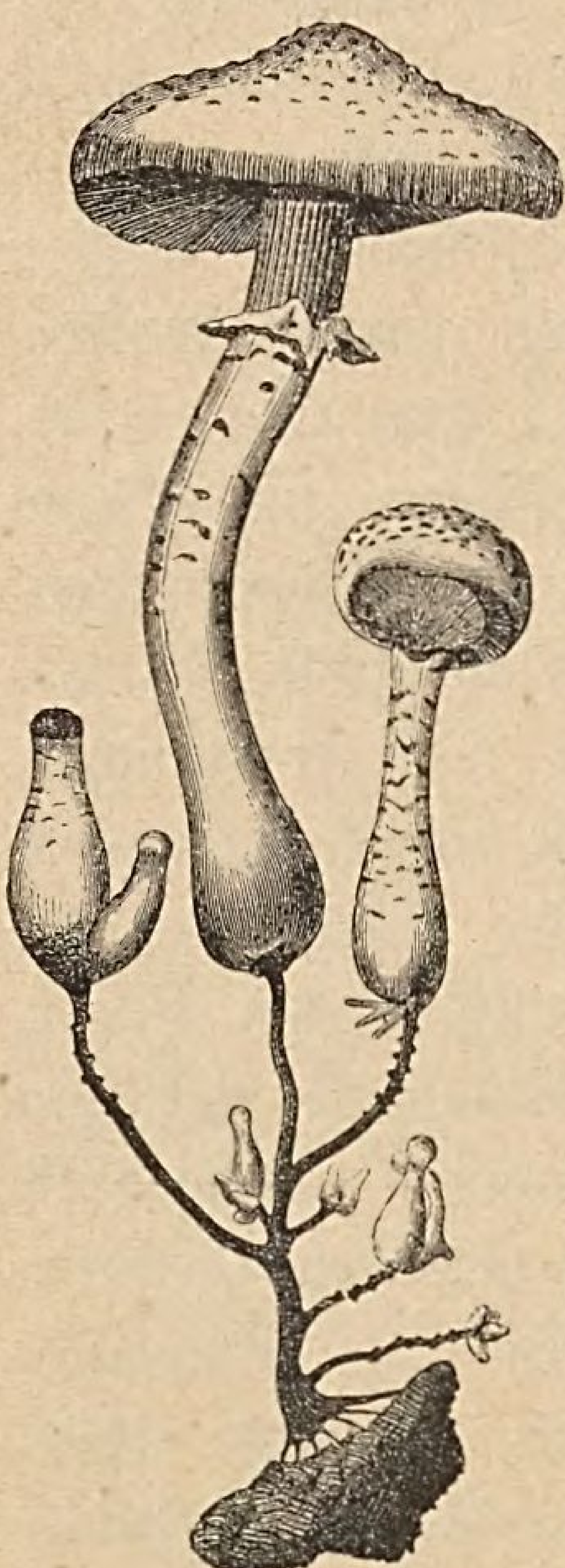
Pflanzen. Die Pilze brauchen zum Aufbau ihres Protoplasmas und ihrer Zellhäute ganz dieselben einfachen Nährstoffe wie die Chlorophyllpflanzen, sie haben Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel nötig. Außerdem brauchen sie aber auch Calcium, Kalium und Phosphor, dagegen kein Eisen, welches, wie wir gesehen haben, die grünen Pflanzen nur zur Bildung des Chlorophylls bedürfen. Die chlorophyllosen Pilze haben kein Eisen nötig. Während die Chlorophyllpflanzen ihren Kohlenstoff der atmosphärischen Kohlensäure entnehmen, müssen den Pilzen organische Kohlenstoffverbindungen gereicht werden, welche sie mit ihren Wurzelfäden aufnehmen. Bei ihrer natürlichen Vegetation auf lebenden oder toten Pflanzen und Tieren finden die Pilze ja alle die genannten Stoffe in dem Körper ihres Wirtes. Sie können demselben Kohlehydrate, Eiweißstoffe, Nitrate und Sulfate entziehen und haben damit alles, was sie brauchen.

Aus den Kohlenstoffverbindungen, welche ihnen zugänglich gemacht sind, bilden nun die Pilze nicht etwa Stärke wie die Chlorophyllpflanzen. Stärke findet sich niemals in den Pilzen, wie sie überhaupt Kohlehydrate nur ausnahmsweise aus den aufgenommenen Nährsubstanzen erzeugen. Dagegen erzeugen sie reichlich Fett und zwar ebensowohl, wenn sie mit Kohlehydraten als wenn sie mit Eiweißstoffen ernährt werden. Die Umwandlung von Kohlehydraten in Fett ist nach den bekannten Thatsachen der Keimung fetthaltiger Samen, wo Fette in Kohlehydrate übergehen, nichts Überraschendes, sehr merkwürdig aber ist das Vermögen der Pilze, auch die stickstoffhaltigen Verbindungen wie Peptone oder Albumin für ihre Fettbildung zu benutzen. Es finden also die weitgehendsten Umwandlungen der von den Pilzen aufgenommenen Nahrungsmittel statt.

Bemerkenswert sind nun dabei die oft ganz bedeutenden Veränderungen, welche die Pilze bei ihrer Ernährung und ihrem Wachstum mit dem Substrat selbst vornehmen. Sie erzeugen durch ihre lebhafte Vegetation Mengen von Zersetzungsprodukten ihres Nährbodens, ohne dieselben für ihre Ernährung zu be-

nutzen. Von Pilzen befallene Speisereste, Brot u. s. w. werden allmählich in weiche oder flüssige Massen umgewandelt, die ursprüngliche Form vollkommen zerstört, ohne daß doch die ganze Masse des Substrates etwa auch vollständig resorbiert würde.

Fig. 67.



Agaricus melleus. Das verzweigte strangförmige Mycel, welches unten noch mit einem Holzstück zusammenhängt trägt Fruchtkörper in verschiedenen Entwickelungszuständen. (Nach Hartig.)

Der Hausschwamm, Merulius lacrymans, dessen Mycel das Holz durchwuchert und dann mit großen Fruchtträgern hervorbricht macht dadurch das Holz brüchig und verwandelt es in eine lockere Masse, ohne es doch vollständig aufzuzehren. Ebenso wird die lebende Substanz von Pilzen befallener Pflanzen durch die Schmarotzer verändert. Die äußerst gefährlichen Pilze, welche unsere Waldbäume verderben, bewirken, während ihr Zerstörungswerk fortschreitet, die mannigfachsten Stoffwandelungen*). So z. B. der Pilz Peridermium Pini, welcher in den Nadeln der Kiefern sein Mycel verbreitet und außen auf den Blättern selbst seine gelbgefärbten Sporenbehälter erzeugt, welche als Kiefernnadelrost bekannt sind. So lange der Pilz nur in den Nadeln bleibt, ist er weniger gefährlich, allein das Mycel dringt auch in die Rinde junger Kiefern ein und verbreitet sich in derselben, um endlich durch die Markstrahlen in das Holz einzudringen. Äste und Zweige der Kiefern sterben dann oft schon nach wenigen Jahren ab. Wo das Mycel hinkriecht wird die Stärke und der Zellinhalt aufgezehrt, aber in den Zellen scheiden sich dann Tropfen von Terpentinöl aus, wodurch natürlich das Leben zerstört wird. Solche Stoffwandlungen werden durch die Pilzvegetation bewirkt. Einer der allergefährlichsten baum=

*) Hartig, Lehrbuch der Baumkrankheiten.

tötenden Parasiten ist der Hallimasch, Agaricus melleus, welcher auf sämtlichen Nadelholzbäumen Europas lebt und junge Nadelbäume wie 100jährige Kiefern zu grunde richtet. Sein Mycel bildet dickere Stränge oder breitet sich flächenförmig unter der Rinde der Wurzeln aus, kriecht aber dann oft in der Stammrinde hoch hinauf. Das Mycel zerstört das Rindengewebe, wobei ebenfalls der Zelleninhalt in Terpentinöl umgewandelt wird, welches sich dann oft in größerer Menge im Gewebe ansammelt oder aus Rissen und Spalten hervortritt. Durch die Markstrahlen gelangt das Mycelium dann in das Holz und zersetzt dieses, so daß eine Art Weißfäule eintritt.

Ganz besonders sind es aber die kleinsten Pilze und die kleinsten Organismen zugleich, welche neben ihrer Ernährungsthätigkeit in ganz eklatanter Weise chemische Umwandlungen ihrer Nährsubstrate bewirken. Es sind die Fäulnis- und Gährungserreger, die Bakterien und die Hefepilze.

Sprechen wir zunächst von den Bakterien, jenen selbst unter dem Mikroskop noch unendlich kleinen chlorophyllosen Organismen, mit welchen selbst der Mensch in einem energischen Kampfe liegen muß. Sie greifen ohne Zweifel den menschlichen Körper an und durch ihre ungemeine Vermehrungsfähigkeit aus wenigen Keimen zu Trillionen anwachsend, führen sie durch ihre physiologischen Eigenschaften, wenn sie in den Blutstrom des Körpers geraten, chemische Zersetzungen herbei, die als oft tötliche Krankheiten sich offenbaren. Sehen wir uns zunächst die Bakterien einmal an, so findet man sie in verschiedenen Gestalten auftretend, als kugelförmige Zellen oder als gerade cylindrische oder spiraliggewundene Stäbchen, wie Figur 68 (a—f) einige abbildet. Immer aber sind sie ganz unendlich klein, und nur mit den allerstärksten mikroskopischen Vergrößerungen überhaupt zu sehen. Die größeren Spaltpilze haben nach Nägelis Angaben nur einen Durchmesser von $^1/_{500}$ Millimeter und ein Gewicht von $\frac{1}{2500000000}$ Milligramm. Da aber wie bei allen Pflanzenzellen die größte Masse ihrer Körpersubstanz Wasser ist, welches

wenigstens 75% beträgt, so wiegt ein lufttrockenes Spaltpilzchen nicht über $\frac{1}{8000000000}$ Milligramm. Das wäre aber noch immer ein größerer Spaltpilz, eine kleinere Form würde vielleicht nur $\frac{1}{2000}$ Millimeter Durchmesser haben und weniger als $\frac{1}{1000000000000}$ Milligramm im lebenden Zustande, lufttrocken dagegen nur $\frac{1}{3000000000000}$ Milligramm wiegen.

Organismen von solchen kaum vorstellbaren Dimensionen können natürlich überall eindringen, überallhin sich verbreiten, ohne daß man auch nur im entferntesten sich vor ihnen schützen könnte. Aus Flüssigkeiten oder feuchten Substraten, auf denen sie leben, kann zwar ein einfacher Luftzug die Bakterien nicht fortführen, allein, wenn sie irgendwo eintrocknen, so wird der leiseste Luftzug sie überall hinführen und in Städten und in der Nähe menschlicher Wohnsitze schweben daher reichlich Spaltpilze überall in der Luft. Diese sind vollkommen entwickelungsfähig, denn ob sie auch einmal völlig eingetrocknet waren, so schadet ihnen das in vielen Fällen nichts, treffen sie irgendwo ein ihnen zusagendes Substrat, so leben sie auf und vermehren sich zu ungezählten Generationen.

Ihre Vermehrung geschieht einfach dadurch, daß sich ein Spaltpilzchen in zwei teilt, die dann zur bestimmten Größe heranwachsen und nun jedes ein vollständiges Spaltpilzchen darstellen, welches sich wieder teilen kann und so fort. In etwa 20 Minuten kann sich ein Spaltpilzchen teilen, in weiteren 20 Minuten haben sich die entstandenen neuen Individuen wieder geteilt, sind also schon in Vierzahl vorhanden. Am Ende von 2 Stunden sind auf diese Weise schon 64, nach 3 Stunden 512, nach 4 Stunden 4096 und nach 8 Stunden 16 777 216 Spaltpilze entstanden. In 16 Stunden, also im Laufe von etwas über einem halben Tage würden 281 474 976 710 656 Spaltpilze aus einem einzigen entstehen können. Wenn also gleichzeitig auch nur 10 Spaltpilze ihre Vermehrung beginnen, so würde man in einem Tage Zahlen erhalten, welche nicht mehr zu fassen sind.

Aus den beiden Gründen der allgemeinen Verbreitung und

der ungemein leichten und schnellen Vermehrung der Spaltpilze ist es sehr leicht, sich dieselben für die Beobachtung zu verschaffen. Man braucht nur Abkochungen von Pflanzenteilen, z. B. eine Abkochung von Heu oder von Erbsen hinzustellen oder auch gekochtes Hühnereiweiß oder Kartoffeln feucht liegen zu lassen, um bald Bakterienkolonieen zu haben, welche die Flüssigkeit als eine dünne Haut überziehen, auf festen Substraten als schleimige Flecke auftreten. Letztere sind dann meistens große Kolonieen von Bakterien, welche in eine schleimige Masse eingebettet, Ruhezustände darstellen, welche man Zoogloeen nennt. Häufig aber zeigt das Mikroskop die verschiedensten Formen von Bakterien in lebhaftester Bewegung begriffen. Eine große Anzahl dieser kleinen Pilze bewegt sich nämlich unter gewissen Bedingungen sehr lebhaft in ihrer Nährflüssigkeit hin und her, zum Teil mit Hilfe besonderer fadenartiger Bewegungsorgane (Cilien), welche aber so fein sind, daß nur das geübteste Auge dieselben selbst bei den stärksten mikroskopischen Vergrößerungen erblicken kann.

Ebensogut wie auf beliebigen organischen Substraten kann man auch die Spaltpilze in künstlichen Nährlösungen kultivieren, was besonders für wissenschaftliche Beobachtungen notwendig ist. Eine Nährlösung, welche Nägeli angegeben, ist folgendermaßen zusammengesetzt.

100	gr	Wasser
1	„	Eiweißpepton
0,2	„	Kaliumdiphosphat
0,04	„	Magnesiumsulfat
0,02	„	Calciumchlorid.

Auch die Spaltpilze bedürfen zu ihrer Ernährung außer organischen Verbindungen der Mineralbestandteile. Für die Kultur der Spaltpilze ist es zu empfehlen die Lösung schwach alkalisch zu halten, da in einer schwach sauren Lösung die Schimmelpilze bald die Bakterien verdrängen. Auf die eine oder die andere Weise gelangt man leicht zu Beobachtungsmaterial verschiedener Bakterienformen, die nebeneinander in den Nährlösungen vegetieren.

Für wissenschaftliche Zwecke ist es nun aber vonnöten oft nur eine ganz bestimmte Bakterienform zu haben und die Gewinnung einer solchen „Reinkultur“ ist mit der größten Schwierigkeit verknüpft, da selbst, wenn eine Auswahl von einem bestimmten Spaltpilz gemacht worden ist, es ungemein schwer hält, das Eindringen anderer Formen zu verhindern.

Das Auffallende bei der Ernährung der Spaltpilze bilden jedenfalls die ebenso tiefgreifenden als verschiedenartigen Umwandlungen, welche die Spaltpilze mit ihrem Nährsubstrat vornehmen. Bei ihrer ganz verschwindenden Körpergröße ist die Substanzmenge, welche zu ihrer Ernährung nötig ist, eine sehr kleine und steht in gar keinem Verhältnis zu den bedeutenden Substanzmengen, welche sie bei ihrer Vegetation zersetzen. Es sind ja ganz ungeheuere Massen, welche diese unendlich kleinen Organismen zerstören, indem sie die Fäulnisprozesse der Substrate hervorrufen. Die Fäulnis der organischen Reste, der Tierleichen u. s. w., mit ihren für den Gesichts- und Geruchssinn sehr abschreckenden Erscheinungen ist der Zerstörungsprozeß, den die Bakterien neben ihrer Ernährung ausführen. Es ist nicht zu verkennen, daß die Pilze und namentlich die Spaltpilze damit eine gewisse Aufgabe im Haushalte der Natur übernehmen, nämlich die Fortschaffung der abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Organismen. Sie sind es, welche das „Wiederzuerdewerden“ thatsächlich ins Werk setzen. Wo ein tierischer toter Körper liegt, sind bald die Spaltpilze in emsiger Arbeit und machen durch den von ihnen eingeleiteten Prozeß der Verwesung den Körper bald verschwinden. Wenn es keine Pilze gäbe, so würden alle abgestorbenen Organismen einfach zusammentrocknen und dann in diesem Zustande verharren und im Laufe der Jahrtausende müßten sich unendliche Massen toter Körper ansammeln, welche überall die Erde bedeckten. Das geschieht nicht und die Pilze sind es besonders, welche tabula rasa machen.

Außer den eigentlichen Fäulnis- und Verwesungsprozessen bewirken aber die Spaltpilze auch mit sehr verschiedenem Resultate

die Vorgänge, welche man als Gährungen bezeichnet. Unter diesem Ausdrucke versteht man chemische Prozesse, welche durch die Gegenwart lebender Organismen hervorgerufen, ohne dieselben nicht stattfinden, deren eigentlicher Chemismus aber heute noch sehr rätselhaft ist. Durch ihre Funktion als Gährungserreger werden die Spaltpilze, wie bekannt, zu außerordentlich wichtigen Organismen, es braucht ja nur an die Essigfabrikation erinnert zu werden. Was man Essig nennt, ist eine mit viel Wasser verdünnte Essigsäure, welche ein Oxydationsprodukt des gewöhnlichen Alkohols ist. Aus alkoholhaltiger Flüssigkeit wird daher, wie bekannt, der Essig auch fabriziert. Aber durch einfaches Stehen an der Luft verwandelt sich der Alkohol nicht in Essigsäure. Es ist dazu die Gegenwart eines Spaltpilzes, des Essigpilzes (Bacterium aceti) nötig. Nur durch seine Vermittelung oxydiert sich der verdünnte Alkohol aus dem man den Essig herstellt und es wird daher bei der Fabrikation eine kleine Menge des Essigpilzes dem Essiggut zugefügt, was sehr leicht ist, da in jedem fertigen Essig der Essigpilz vorhanden ist und man also nur eine Quantität fertigen Essig der alkoholischen Flüssigkeit zuzufügen braucht, damit dieselbe sich vollständig in Essig umwandele.

Die Spaltpilze rufen ferner die Milchsäure- und Buttersäuregährung hervor. Das Sauerwerden der Milch, der Gemüse und anderer Speisen beruht darauf, daß durch Spaltpilze die in diesen Speisen enthaltenen Zuckerarten in Milchsäure umgewandelt werden, welche dann den Speisen den säuerlichen oder sauren Geschmack verleiht. Auch die Buttersäuregährung, bei welcher die Spaltpilze aus Kohlehydraten Buttersäure bilden, ist eine praktisch benutzte Bakterienwirkung, welche beim Reifen des Käses, des Sauerkohls u. s. w. zu tage tritt. In unangenehmer Weise machen sich dann wieder die Spaltpilze durch Erregung der schleimigen Gährung bemerkbar, bei welcher sie Zucker in Gummi oder Mannit überführen und dadurch z. B. Bier und Wein sowie andere zuckerhaltige Flüssigkeiten schleimig und fadenziehend und damit ungenießbar machen. Sehr auffallend ist die Erzeugung

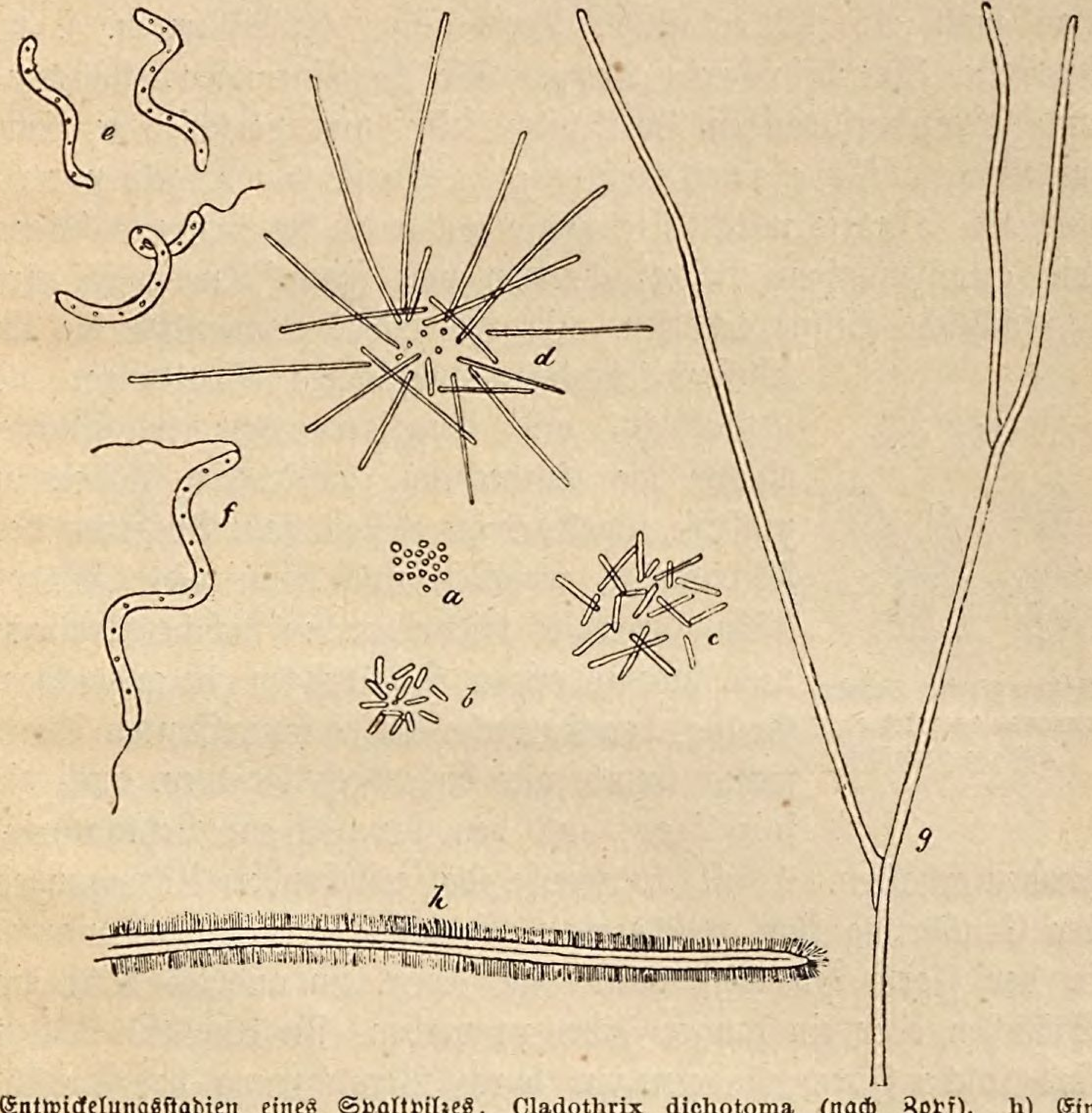
von Farbstoffen, welche von manchen Bakterien, den sogenannten chromogenen oder Pigmentbakterien, ausgeht. Sie bilden bei ihrer Vegetation meist sehr lebhafte rote, gelbe, blaue, grüne, violette u. a. Farbstoffe. Es ist noch nicht entschieden, ob diese Farbstoffe in den Zellen der Spaltpilze entstehen oder ob sie etwa Umwandlungsprodukte des Substrates sind, welche erst nachträglich in die Zellen aufgenommen werden. Solche chromogene Bakterien treten besonders auf stärkemehlhaltigen Substraten auf, wie auf Weißbrot, gekochten Kartoffeln u. s. w. Es waren derartige rote Pigmentbakterien, welche früher zu dem Aberglauben der blutenden Hostien und des blutenden Brotes Anlaß gaben. Hostien, welche bekanntlich aus Stärkemehl bestehen, geben ja, wenn sie etwas feucht liegen, einen geeigneten Nährboden für Spaltpilze ab und so war es denn kein Wunder, daß sich hier und da plötzlich auf einer Hostie blutrote Tröpfchen zeigten, welche nichts anderes waren, als Pigmentbakterien. Ein anderes Bakterium erzeugt, wenn es auf Milch gelangt, einen blauen Farbstoff und bewirkt die Erscheinung, welche als „blaue Milch“ bekannt ist. Sehr merkwürdig und wissenschaftlich interessant ist die Thatsache, daß die chromogenen Bakterien nicht auf jedem Substrate Pigmente erzeugen. Wenn der Pilz der blauen Milch auf Zuckerlösung, Gummilösung oder ein schleimiges Nährsubstrat übertragen wird, so gedeiht er hier zwar ebenso üppig, erzeugt aber nun keinen blauen Farbstoff mehr.*)

Aus allen diesen Thatsachen ist es denn auch ziemlich erklärlich, daß die Spaltpilze im lebenden tierischen und menschlichen Körper Zersetzungen hervorrufen und damit Ursache der schlimmsten Infektionskrankheiten, wie Diphtheritis, Rückfalltyphus u. s. w. werden. In diesen ebenso wichtigen als schwer zugänglichen Verhältnissen hat sich der Forschung ein weites Gebiet aufgethan, das aber noch keineswegs befriedigend aufgehellt ist. Aus diesem Grunde stößt man gerade in diesen

*) Neelsen, Studien über die blaue Milch. Cohns Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Bd. III.

Fragen auf die größten Meinungsverschiedenheiten. Eine solche Verschiedenheit der Ansichten ist besonders in bezug auf die genetische Zusammengehörigkeit aller Spaltpilzformen vorhanden.

Fig. 68.

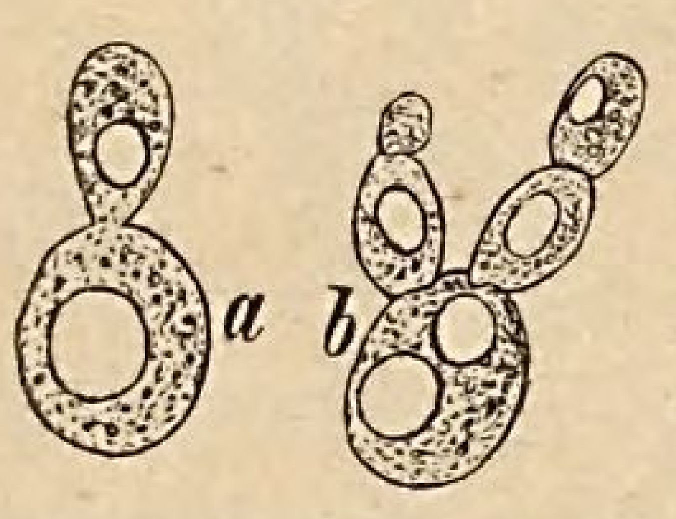


Entwickelungsstadien eines Spaltpilzes, Cladothrix dichotoma (nach Zopf). h) Ein Valisneriablattstück von dichtem Cladothrixrasen überzogen. g) Stück einer solchen Kladothrixpflanze stark vergrößert. a) Mikrokokkenhäufchen aus einem Faden wie g ausgetreten, b) zu Stäbchen herangewachsene Mikrokokken. e) und d) weitere Stadien der Entwickelung von Mikrokokken zu Stäbchen. e) und f) schraubenförmige Entwickelungszustände eines anderen Spaltpilzes. Beggiatoa alba.

Es können natürlich zwei Möglichkeiten gedacht werden. Entweder sind alle jene in besonderer Weise physiologisch wirksamen Bakterien besondere Arten oder es giebt nur eine oder wenige

Arten von Spaltpilzen, die je nach den Bedingungen unter denen sie leben ganz verschiedene Formen und Eigenschaften annehmen. Diese letztere Ansicht wurde schon seit einer Reihe von Jahren von Nägeli verfochten. Er behauptete zwar nicht, daß es nur eine einzige Art von Spaltpilzen gäbe, aber jedenfalls seien das was man als Mikrokokkus, Bakterium, Spirillum u. s. w. bezeichne, keine besonderen Arten. Die kugelförmigen, stäbchen- und schraubenförmigen Spaltpilze seien nur verschiedene Entwickelungszustände eines Spaltpilzes. Diese von Nägeli vorerst nur als Theorie mitgeteilte Lehre hat durch die ebenso wichtigen wie gewissenhaften Untersuchungen von Zopf*) neuerlich ihre thatsächliche Stütze erhalten. Zopf, welcher namentlich die im Wasser lebenden langfädigen Spaltpilze, die Leptothrix- und Beggiatoaarten untersuchte, machte die Entdeckung, daß deren Fäden in zahllose kugelförmige Zellen vom Aussehen der Mikrokokken zerfallen und dann diese Mikrokokken ihrerseits wieder zu den stäbchenförmigen und fadenförmigen Spaltpilzen heranwachsen. Genug, der Entdecker dieser interessanten Thatsachen konnte alle diejenigen Formen, auch die spiraligen, aus den langfädigen Lepthothrixformen erhalten. Es ist kein Zweifel, daß es besondere Bedingungen der Ernährung sind, welche einen Spaltpilz veranlassen, einmal in der Form des Mikrokokkus zu leben, ein anderes Mal ein Stäbchen oder ein langer Faden zu werden. In einzelnen Fällen sind solche Formenänderungen durch Veränderung der Ernährungsbedingungen schon mit Sicherheit nachgewiesen.

Fig. 69.



Gährungspilz, Saccharomyces cerevisiae, in Teilung begriffen.

Naturgemäß schließen sich an die Bakterien einige Bemerkungen über den Hefepilz an. Der Hefepilz, dessen Form unsere Abbildung zur Anschauung bringt, bewirkt bekanntlich die Gährung des Zuckers, bei welcher als Hauptprodukte Alkohol

*) Zopf, Zur Morphologie der Spaltpflanzen 1882. Für weitere Kreise zu empfehlen: Zopf, Die Spaltpilze 1883.

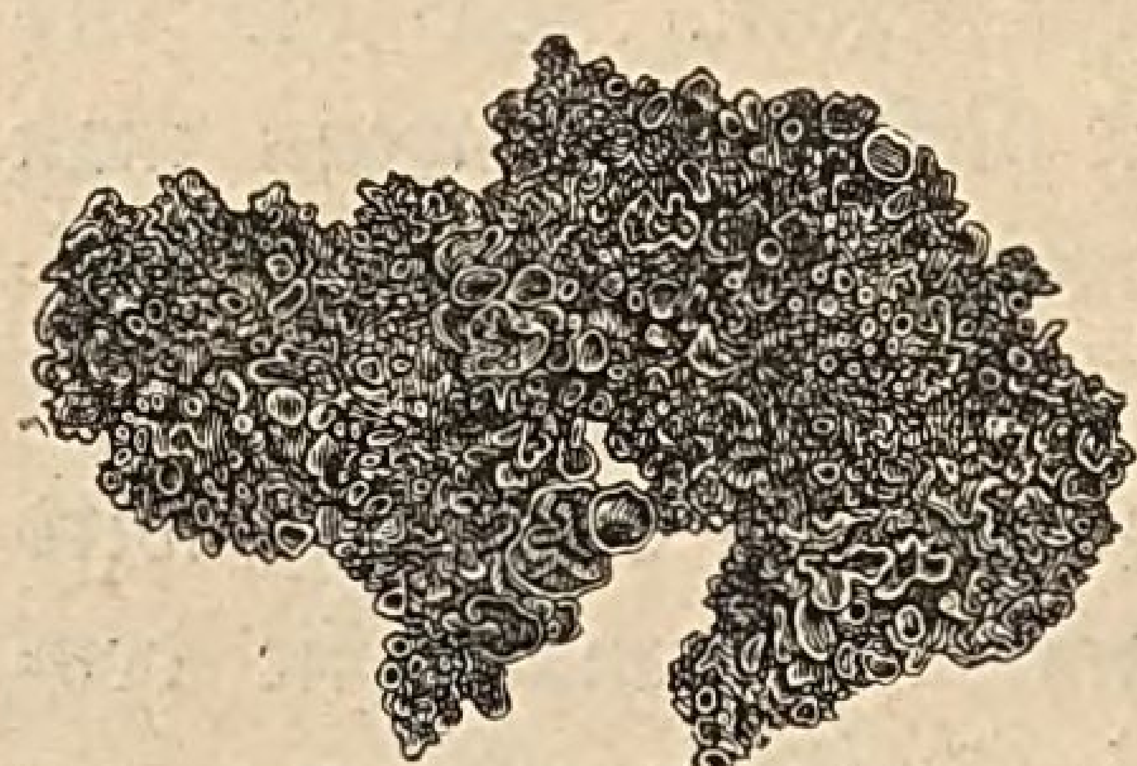
und Kohlensäure, daneben in kleiner Menge Glycerin und Bernsteinsäure entstehen.

Diese auffallenden chemischen Spaltungen gehen ebenfalls wie bei den Bakterien neben der eigentlichen Ernährungsthätigkeit einher. Viel größere Quantitäten als die Hefe zu ihrer Ernährung bedürfte, zersetzt sie bei ihrer Vegetation in einer Zuckerlösung. 1 Gramm Unterhefe (Trockengewicht) kann in einer 10prozentigen Rohrzuckerlösung, welche außerdem noch weinsaures Ammoniak als stickstoffhaltigen Nährstoff enthält, während 24 Stunden ca. 70 Gramm Zucker vergähren, wobei die Hefe selbst auf mehr als das Doppelte zunimmt und etwa 2,5 Gramm an Gewicht beträgt. Während der 24 Stunden waren also durchschnittlich 1,7 Gramm Hefe in Thätigkeit, welche das 40fache ihres Gewichtes an Rohrzucker vergohren haben. Es sind das gewiß sehr auffallende und merkwürdige Leistungen, wenn man bedenkt, daß eine Hefezelle nur ein Volumen von $\frac{1}{2000000}$ Kubikmillimeter und ein Gewicht von $\frac{1}{2000000}$ Milligramm besitzt. Die Hefe versetzt Traubenzucker ohne weiteres in Gährung, wird sie dagegen in Rohrzuckerlösung gebracht, so wandelt sie denselben erst durch eine Fermentwirkung in Traubenzucker um, ehe die alkoholische Gährung beginnt. Bei diesem Prozeß werden beträchtliche Mengen Wärme frei. Bei der Vergährung von 1 Kilogramm Rohrzucker oder nach der Inversion desselben von 1,0526 Kilogramm Traubenzucker werden nach Nägeli 146,6 Kalorieen erzeugt und die Temperatur einer gährenden Zuckerlösung kann um eine Erhöhung von über 14° C. zunehmen. Auf welche Weise die Hefe die Spaltung des Zuckers in Alkohol, Kohlensäure und die genannten Nebenprodukte vornimmt, das ist heute noch eines der größten Rätsel, zu dessen Lösung man bis jetzt nur versucht hat, verschiedene Theorien, „die Gährungstheorien“ aufzustellen, deren Besprechung nicht im Zwecke unseres Buches liegt.

Da der Sauerstoff für das Leben aller Organismen in jedem Moment notwendig ist, so ist bemerkenswert, daß die Hefe bei sehr geringem Sauerstoffzutritt sich entwickeln kann und daß

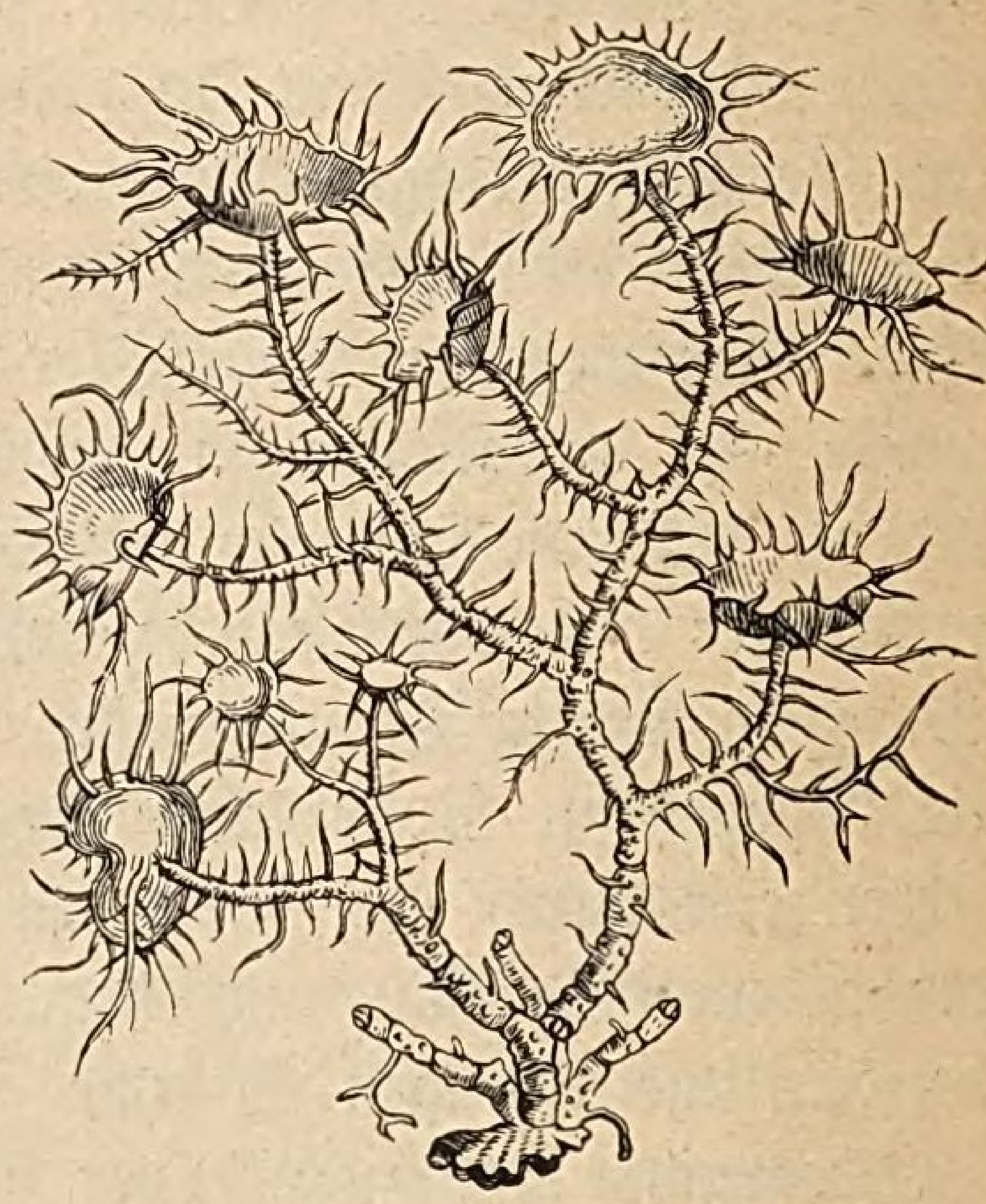
die Alkoholgährung auch in sauerstofffreien Zuckerlösungen verläuft. Dies geringe Sauerstoffbedürfnis haben auch zum Teil die Bakterien, während die Schimmelpilze nur bei gehörigem Zutritt von Sauerstoff wachsen. Wie es scheint, steht mit der Atmung die Fettbildung der Pilze in Verbindung, denn die sauerstoffbedürftigen Schimmelpilze sind fettreich, während die Hefe, wenn sie unter Sauerstoffabschluß wächst, sehr wenig Fett bildet.

Fig. 70.



Die Wandflechte (Physcia pariétia) in natürlicher Größe.

Fig. 71.



Bartflechte (Usnea barbáta).

Überblicken wir noch einmal das Heer der Pilze, so erscheinen sie uns im allgemeinen als zerstörende, nivellierende Organismen. Die organische Substanz, welche die chlorophyllhaltigen Pflanzen durch ihre Assimilation gewonnen haben, wird von den Pilzen wieder zerstört, „sie vermindern den Gesamtvorrat von assimilierten Stoffen". Sie verfahren dabei äußerst rücksichtslos, indem sie mehr Substanz vernichten als sie zu ihrer Erhaltung brauchen. Dem gegenüber ist nun ein Fall

hervorzuheben, wo die Pilze in einer fast ökonomischen Weise sich mit Chlorophyllpflanzen ins Einvernehmen gesetzt haben. Dies ist bei den Flechten der Fall, welche eine ganz merkwürdige Erscheinung im Pflanzenreiche darstellen. Die Flechten, welche im allgemeinen als ziemlich unscheinbare Organismen sich nicht der Beachtung gerade aufdrängen, findet man dennoch häufig und überall. Sie bedecken die Rinde alter Bäume, sitzen auf Felsen oder auf dem Boden des Waldes und werden von Nichtbotanikern wohl ziemlich häufig mit Moosen verwechselt, wie das ja schon aus unrichtigen Namen für manche Flechten hervorgeht. So nennt man ja allgemein die isländische Flechte Cetraria islandica „isländisches Moos“. Was sind nun eigentlich Flechten? Die Flechten sind eine Vereinigung eines Pilzes mit einer chlorophyllhaltigen Alge, welche so innig zu einem Konvivium zusammengetreten sind, daß sie sogar die Form einer einheitlichen Pflanze nachgebildet haben.

Fig. 72.



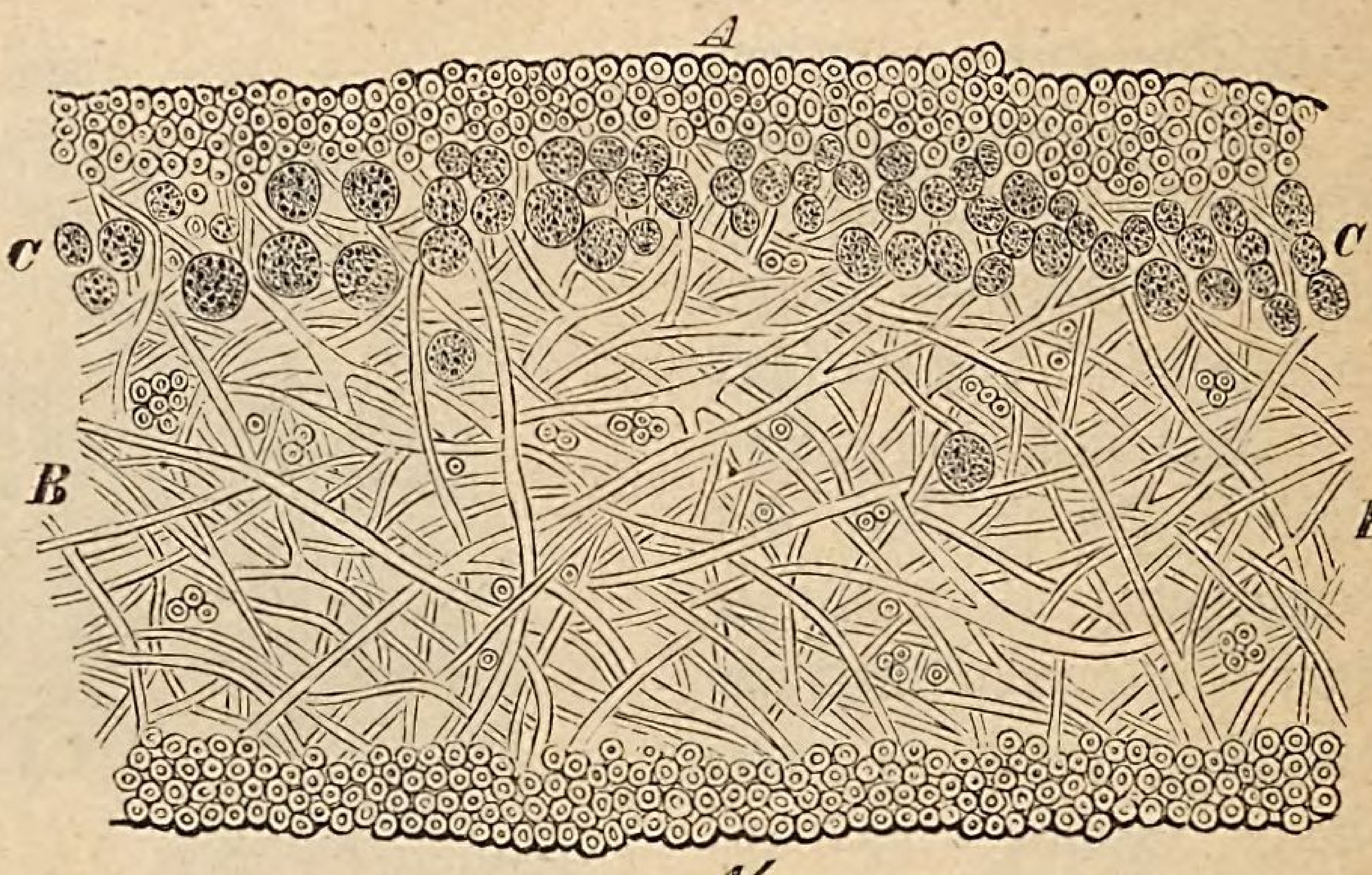
Die isländische Flechte (Cetrária islándica) in natürl. Größe.

Aus der mikroskopischen Betrachtung einer Flechte erfährt man, daß ihr Körper aus einem Geflecht von Pilzfäden besteht, in welchem grüne Algen eingeschlossen sind. Man erblickt ein Bild, wie es unsere Fig. 73 erläutert, welche einen Durchschnitt durch die an allen Bäumen zu findende Wandflechte, Physcia parietina darstellt. Mit dieser Anordnung hat es nun folgendes auf sich. Der Flechtenpilz schmarotzt im wahren Sinne des Wortes auf der Alge, er ernährt sich von den Substanzen welche die Alge durch Kohlensäurezersetzung gewinnt. Allein, der

Pilz richtet bei den Flechten seinen Wirt nicht rücksichtslos zu grunde, wie wir dies bei den übrigen Schmarotzern gefunden haben, sondern schützt die Algen vielmehr, indem er sie dabei nur soweit in Anspruch nimmt, als er ihrer unbedingt bedarf.

Die Algen leben von dem Flechtenpilz umsponnen gerade so, wie sie im Freien leben würden, indem sie mit ihrem Chlorophyll Kohlensäure zersetzen und Stärke bilden. Es leuchtet aber ein, daß sie in dem Pilzgewebe ein geschützteres Dasein führen

Fig. 73.



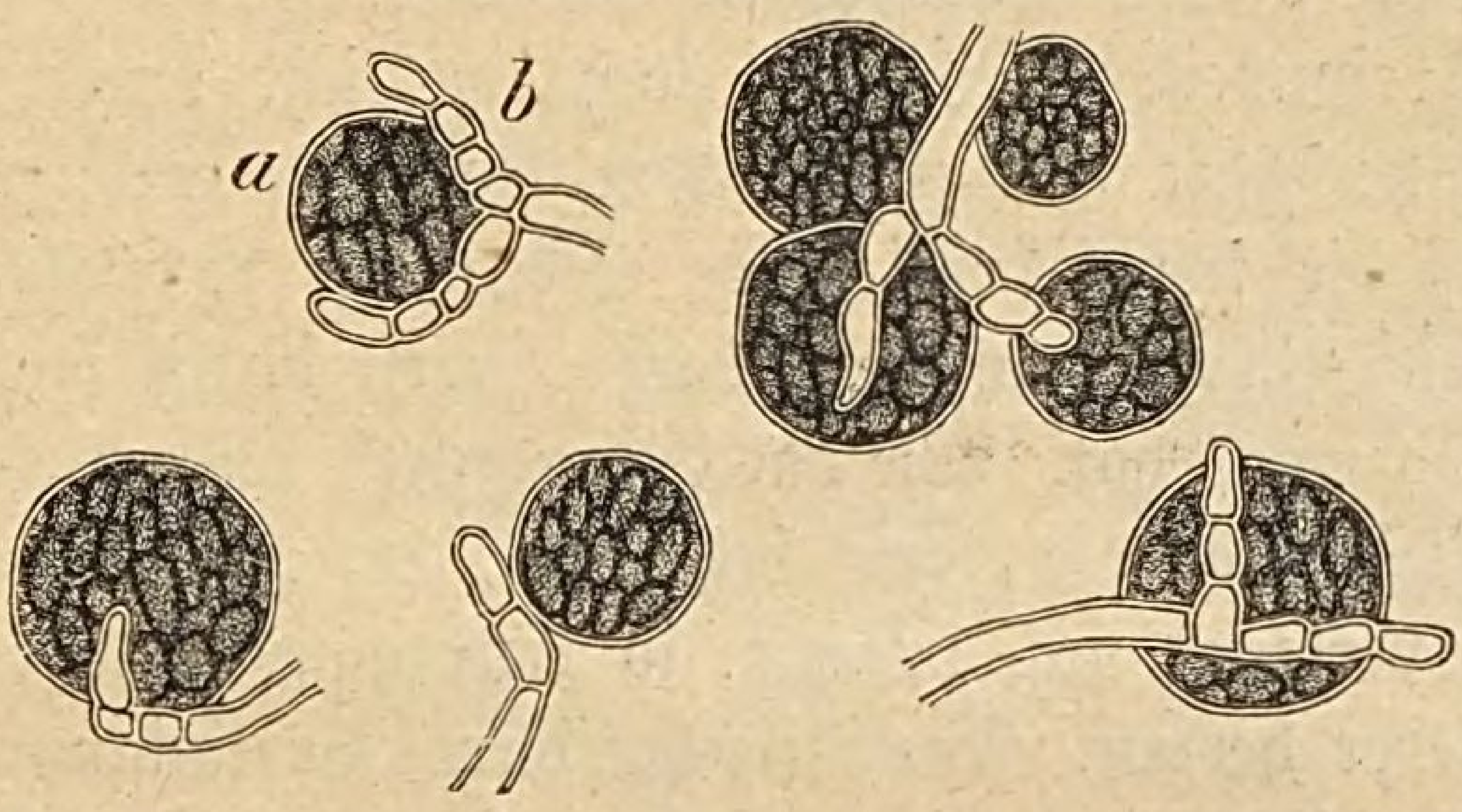
Durchschnitt durch eine Flechte. A Oberseite. A′ Unterseite. B das Geflecht der cylindrischen Pilzfäden, die sich an der Ober- und Unterseite des Flechtenkörpers so anordnen, daß ein Durchschnitt sie alle der Quere nach trifft. C grüne, einzellige Algen, welche in dem Pilzgeflecht eingeschlossen sind.

und da der Pilz Wasser und Aschenbestandteile aufnimmt und ihnen zuführt, auch unter günstigeren, wenigstens gleichmäßigeren Ernährungsbedingungen sich befinden, als wenn sie im freien Zustande lebten, wo natürlich die einzelne Zelle beispielsweise dem Austrocknen viel leichter ausgesetzt ist, besonders an den Orten, wo Flechten häufig wachsen, auf sonndurchglühten Felswänden oder auf dürren wasserarmen Steppen.

Wenn der Flechtenpilz auf diese Weise die Algen gleichsam in seinen Schutz nimmt, so verlangt er dafür eine Gegenleistung

und entzieht den Algen die von ihnen produzierte organische Substanz. Der Anspruch des Pilzes ist aber ein gemäßigter, indem er nur, soweit seine Ernährung es verlangt, die Algen angreift, einzelne Zellen tötet und ihre plastischen Substanzen für sich benutzt, während die übrigen Algen weiter leben, sich teilen und durch ihre ganz normale Vermehrung innerhalb des Pilzgewebes für Nachschub sorgen. Die Art und Weise, wie der Flechtenpilz sich mit den Algen in Verbindung setzt, erläutert die untenstehende Abbildung. Die Pilzfäden legen sich dicht an die Algen an und durchbrechen deren Haut, um den Zellinhalt

Fig. 74.



Einzelne Algen aus einer Flechte in Verbindung mit den Pilzfäden. a) Algenzelle. b) Enden der Flechtenpilzfäden.

sich nutzbar zu machen. Daß es sich bei den Flechten um ein solches Konsortium von Pilz und Alge handelt, wird noch durch einige Thatsachen bestätigt. Einmal sind es nicht etwa ganz spezifische Algen, welche in den Flechten leben, sondern es sind Formen, welche auch im freien Zustande bekannt sind. Man kann dann aber ferner die Algen aus einer Flechte isolieren und sie leben dann getrennt vom Pilze in ihrer gewöhnlichen Weise weiter, allein der Vorteil, den sie durch den Schutz des Pilzes hatten, tritt dabei ebenfalls zu tage, denn in der Flechte werden die Zellen der Algen doch größer und gedeihen entschieden besser als im isolierten Zustande.

Die Flechte ist also ein aus zwei ganz verschiedenen Pflanzenwesen aufgebauter Organismus und der Zweck, welcher dadurch für dieses neue Ganze erreicht wird, ist in seiner Besonderheit durchaus verständlich. Die Pilze sind sonst entweder Parasiten oder Saprophyten. Durch seine Vereinigung mit der Alge kann der Pilz ganz andere Bedingungen aufsuchen. Die Flechten sind ganz unabhängig geworden von organischen Substraten, sie können auf rein mineralischem Boden, auf Felsgestein u. s. w. wachsen. Daß sie häufig auf Baumrinden sitzen, hat nicht den Grund, daß sie den Bäumen organische Substanzen entziehen, die Flechten benutzen hier nur den Raum, den die Oberfläche des Baumes ihnen darbietet.

Ganz besonders wird aber noch ein Licht durch diese seltsame Genossenschaft auf einen schon mehrfach betonten Punkt, nämlich auf die formbeherrschende Bedeutung des Chlorophylls geworfen, ein Punkt, auf den Sachs zuerst durch seine Ideeen aufmerksam gemacht hat. Wie das Chlorophyll bei den eigentlichen Chlorophyllpflanzen die Form beherrscht, wo es die Ausbildung der Flächen verlangt und bewirkt, so tritt ganz dasselbe bei den Flechten wieder hervor. Der Pilz hat durch Vereinigung mit dem chlorophyllhaltigen Organismus ganz seine typische Form verloren. Die Flechten haben keine Ähnlichkeit mehr mit Pilzen, ihr Körper breitet sich in die Fläche aus und bildet laubartige Gestalten. So lange ein Pilz allein lebt, fehlt ihm die flache Gestalt, sobald Chlorophyll mit ihm in Verbindung tritt, bilden sich Formen, die zu denen der höheren Pflanzen sich erheben. Das Chlorophyll beherrscht das Leben, beherrscht die Gestalt.

Druck von Greßner & Schramm in Leipzig.

Im folgenden geben wir die Grundzüge der Einteilung und die Aufstellung der Themata nach einem vorläufigen Plane, der indes auf wohlmotivierten Wunsch der Autoren, sowie für den Fall, daß das Interesse des Publikums eine weiter gehende Detaillierung erwünscht erscheinen läßt, noch mannigfache Veränderungen, Erweiterungen und Ausfüllungen erfahren kann.

Naturwissenschaften.

Astronomie: Erde u. Mond. — Die Sonne, Planeten, Satelliten. — Kometen, Sternschnuppen, Meteorschwärme, Feuerkugeln 2c. — Astrognosie und die Fixstern-Astronomie.

Geologie, Geognosie u. Bergwesen: Die Erde als Weltkörper, das Relief der Erde, ihr Inneres, ihre Entstehung. — Die Niveauveränderungen der Erde. — Die Gebirge, ihr Bau und ihre Entstehung. — Die Erdbeben u. der Vulkanismus der Erde. — Die an der Veränderung der Erdoberfläche thätigen Kräfte (Quellen, Flüsse, Eisströme 2c.), Ablagerung der Zerstörungsprodukte, Mitwirkung tierischen u. pflanzlichen Lebens. — Die Versteinerungen. „Leitfossilien". — Die verschiedenen sedimentären Formationen. — Geologie von Österreich-Ungarn, Deutschland, England, Frankreich, Amerika. — Die Geologie und ihr Verhältnis zu den übrigen Wissenschaften. — Die Geschichte der Geologie. — Der Ozean u. die Binnenmeere. — Die nutzbaren Mineralien u. ihre Gewinnung (Übersicht des Bergbaues). — Die fossilen Brennstoffe (Torf, Braunkohle, Steinkohle, Anthracit u. Kohlenbergbau).

Physik, Chemie u. Meteorologie: Das Wesen der Körper (Gase, Flüssigkeiten, feste Körper, Krystalle u. die Gesetze der Bewegung, Massenanziehung, Bewegung). — Die Welt der Atome (Bau u. Wesen des Stoffs, Kohäsion, Adhäsion, chemische Anziehung). — Die Luft (Natur u. Eigenschaften der Luft, die Atmosphäre, Luftdruck, Windströmungen, Principien der Ventilation, Luftschiffahrt), die Luft im Dienste der Technik (pneumatische Apparate, Luftpumpen, atmosphärische Eisenbahnen). — Das Wasser (Eigenschaften, Quellen, Bäche, Flüsse, Nebel, Thau, Regen, Schnee, Hagel, Gletscher, künstliches Eis). — Beleuchtungsstoffe. — Das Eisen (Eisenerze, Geschichte der Gewinnung des Eisens, Eisenhüttenwesen, Verarbeitung des Eisens, Stahl). — Die edlen Metalle (Quecksilber, Silber, Gold, Platin u. a., Gewinnung u. Verwendung). — Die unedlen Metalle (Kupfer, Wismut, Kadmium, Blei, Zinn, Zink, Antimon, Arsen, Kobalt, Nickel, Mangan, Aluminium 2c.). — Das Glas (Geschichte, Eigenschaften, Fabrikation, Verwendung, Hartglas, optische Gläser, künstliche Edelsteine). — Thon u. Porzellan (das Ganze der Keramik). — Die Nichtmetalle (Schwefel, Phosphor, Selen, Tellur, Chlor, Jod, Brom, Fluor, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kiesel, Kohlenstoff). — Salze u. Säuren (Inbegriff der chemischen Fabrikation, Salinenwesen, Soda, Schwefelsäure 2c.). — Die natürlichen und künstlichen Farbstoffe (Pflanzenfarbstoffe, tierische Farbstoffe, Mineralfarben, Teerfarben und Überblick über das Wesen der Färberei). — Die Produkte der Gährung (Wein, Bier, Branntwein, Essig, dann Fäulnis und Verwesung). — Die Chemie des täglichen Lebens (Chemie der Ernährung, Nahrungsmittel, ihre Wahl u. Zubereitung). — Pflanzen u. Tierstoffe im Dienste des Kulturlebens (Faserstoffe, Gewebe, Zeuge und ihre Verarbeitung, tierische Häute, Leder, Fette u. Öle und ihre Verwertung). — Elektrizität u. Magnetismus im Dienste des Verkehrs (Telegraphie, Telephonie, elektrische Eisenbahnen). — Das elektrische Licht. — Wärme u. Licht (das Theoretische über Licht u. Wärme als Bewegungserscheinungen u. ihre praktische Bedeutung). — Photographie u. Lichtdruck (das Gesamte über die chemischen Wirkungen des Lichtes). — Das Reich der Töne (der Schall u. seine Gesetze, musikalische Instrumente). — Die Witterungskunde.

Zoologie. Systematik. Reich der Protisten, Protoplasma, Schwämme, Protozoen. — Quallen. Radiata. — Arthropoda: Krustazea, Arachnida, Insekten. — Mollusken. — Fische. — Amphibien. — Vögel. — Mamalia. — Fauna von Deutschland. — Wichtigste Tiere der Polarländer. — Wichtigste Tiere der tropischen Länder. — Entstehung der Varietäten 2c. — Systeme. — Morphologie u. Physiologie: Entwicklungs-Geschichte, Funktionen der körperlichen Organe mit Rücksicht auf den Menschen, Stoffwechsel, Lebensbedingungen, natürliches Ende. — Bedeutung der einzelnen Organe, Homologie, Generationswechsel, Ammenzustände, Waffen und Schutzmittel. — Allgemeines: Tiere der Vorwelt. — Entwicklung der jetzigen Fauna aus der früheren. — Tiergeographie. — Tierkunde der Alten und Entwicklung bis zur neuesten Zeit. — Wohnungen, Lebensweise der Tiere. — Das Tierreich im Verhältnis zum Menschen u. den andern Naturreichen. — Der Mensch.

Botanik. Systematik: Grenzen der Tier- u. Pflanzenwelt, Reich der Protisten, Pilze, Algen, Flechten, Moose; Beschreibung und Vorkommen der wichtigsten. — Gefäßpflanzen, systematische Beschreibung, Vorkommen der wichtigsten Pflanzen. — Nutzpflanzen der gemäßigten, kalten u. heißen Zone. — Flora von Deutschland u. Deutschösterreich. — Entstehung der Varietäten, Akkomodation neuer Eigenschaften, Ausbildung der Varietäten, Anpassen der morphol. Verhältnisse an die Lebensbedingungen, Varietät, Rasse, Art, Gattung, Familie, Klasse, Ordnung, Systeme. — Morphologie u. Physiologie: Erste Zustände organisierter Gebilde. Pflanzennahrung u. Aufnahme derselben, Stoffwechsel, Lebensbedingungen, Schutzmittel, Alter, Feinde, natürliches Ende. — Wie wächst die Pflanze. — Wie bildet die Pflanze Blüte, Frucht, Blätter 2c. — Vermehrung, Fortpflanzung, Sporenpflanzen, Samenpflanzen, Generationswechsel. — Allgemeines: Pflanzen der Vorwelt. — Entwicklung unserer jetzigen Flora. — Pflanzengeographie. — Pflanzenkunde der ältesten Zeit in ihrer Entwicklung bis zur Gegenwart. — Das Pflanzenreich im Verhältnis zum Menschen u. zu den andern Naturreichen

Medizin. Gesundheitslehre. — Anatomie und Physiologie (Grundzüge).

Historische Wissenschaften.

Geschichte. Ägypten. — Assyrien. Medien. — Persien. — Griechenland. — Rom. — Alexander d. Gr. — Cäsar. — Mittelalter: Oströmisches (Byzantinisches) Reich. — Deutschland bis zur Reformation. — Frankreich. — England. — Kreuzzüge. — Kämpfe der Christen u. Muhamedaner. — Italien. — Neuzeit: Portugal u. Spanien (rückgreifend). — Frankreich. — England. — Holland. — Deutschland. — Polen. — Rußland. — Skandinavien. — Osmanisches Reich. — Dreißigjähriger Krieg. — Siebenjähriger Krieg. — Luther. — Gustav Adolf. — Waldstein. — Friedrich d. Gr. — Kaiser Josef. — Napoleon. — Cromwell u. m. A. — Französische Revolution. — Gegenwart (XIX. Jahrh.): Preußen. — Deutschland. — Frankreich. — Rußland. — England. — Schweiz (rückgreifend). — Skandinavien. — Italien. — Vereinigte Staaten (rückgreifend). — Balkan-Halbinsel (christlich). — Ostindien. — Süd- u. Mittel-Amerika. — Osmanisches Reich. — Persien, Afghanistan u. Turan. — Spanien u. Portugal. — Österreich.

Länder- u. Völkerkunde. Europa: Portugal mit den Azoren. — Spanien. — Frankreich (Norden). — Frankreich (Süden). — England u. Schottland. — Irland. — Belgien. — Holland. — Schweiz. — Italien (Norden). — Italien (Süden). — Deutschland: Der Rhein von Worms an. Elsaß und Lothringen. Baden u. Württemberg. Baiern. Thüringen u. Hessen. Westfalen. Hannover, Oldenburg, Braunschweig. Sachsen. Brandenburg und Provinz

Sachsen. Schlesien. Ost- u. West-Preußen. Posen. Pommern u. Mecklenburg. Schleswig u. Holstein. — Skandinavien: Norwegen u. Dänemark. Schweden. u. Finnland. — Österreich: Alpenländer. Niederösterreich. Böhmen. Mähren u. Schlesien. Galizien u. Bukowina. Istrien u. Dalmatien. Ungarn u. Kroatien. — Balkan-Halbinsel. — Rußland. — Polen. — **Asien:** Sibirien. — Russisches u. Inner-Asien. — Persien. — Klein-Asien. — Syrien, Arabien. — Afghanistan, Beludschistan. — Ost-Indien. — Hinter-Indien. — Archipel. — China mit Thibet. — Japan. — **Australien:** Der Australkontinent u. Tasmanien. — Die ozeanische Inselwelt. — **Afrika:** Marocco. — Algier u. Tunis. — Tripolis u. Inner-Afrika mit dem Tschadsee. — Abyssinien, Galla, Somali, Madagaskar. — Senegal u. Westküste. — Südafrika. — **Amerika:** Englisch-Nordamerika u. die Vereinigten Staaten (a. Kanada u. die östlichen Staaten, b. die südlichen Staaten, c. der Westen u. Kalifornien). — Mexiko u. Mittelamerika. — Südamerika (Guiana u. Venezuela. Bolivia u. Peru. Chili. Argentinien. Brasilien). — Polarländer.

Kulturgeschichte: Ägypten. — Assyrien, Medien, Persien. — Indien. — Griechenland. — Rom. — China. — Japan. — Völkerwanderung. — Byzantinisches Reich. – Zeit Karl d. Gr. — Das Papsttum. — Entstehung u. Entwickelung der deutschen Städte. — Deutschland zur Zeit der Reformation. — Amerika (Urzustand, Kolonisation, Verfassung, Industrie, Sitten, Gebräuche). — Geschichte der Universitäten. — Frankreich unter Ludwig XIV. — England unter Elisabet. — Spanien unter arabischer Herrschaft. — Blüte der Wissenschaften unter den Kalifen. — Entwicklung des deutschen u. nordischen Mythus. — Die Juden seit ihrer Zerstreuung. — Geschichte der Religionen. — Das XVIII. Jahrhundert. — Das XIX. Jahrhundert. — Die Welt der Slaven. — Geschichte der Erfindungen. — Der Welthandel. — Geschichte der Gewerbe. — Geschichte der Medizin. — Geschichte der Mathematik. — Geschichte des Socialismus. — Geschichte der Heeresbildung u. Kriegführung. — Geschichte des Zeitungswesens. — Die Geschichte des Verkehrs. — Geschichte der Entdeckungen.

Philologie: Die Familie der Sprachen. — Geschichte der Schrift. — Die deutsche Sprache. — Die deutschen Mundarten. — Die germanischen Sprachen. — Die romanischen Sprachen. — Die slavischen Sprachen.

Jurisprudenz: Geschichte des Rechts. — Die wichtigsten strafrechtlichen Fragen unserer Zeit. — Geschichte der Verfassungen. — Der moderne Staat.

Nationalökonomie: Grundbegriffe. — Geschichte.

Philosophie: Geschichte. (Griechische Philosophie. Die Systematiker bis Kant. Neuere Philosophie.) — Geschichte des Materialismus. — Grundzüge der Psychologie. — Grundzüge der Logik. — Entwicklung der Moral. — Geschichte der Pädagogik. (Für die weitere Folge sind Monographien über die hervorragendsten Philosophen in Aussicht genommen.)

Kunstgeschichte: Die Kunst u. die Künste. (Übersichtlich in der Entwicklung ihrer ästhetischen u. technischen Seite beleuchtet.) — Geschichte der Architektur. — Geschichte der Skulptur. — (Der Orient u. die Antike. Wiedergeburt. Michel Angelo. Neuzeit. Ausgrabungen.) — Geschichte der Malerei. (Einleitung. Altertum. Vorklassische Zeit. Klassische Zeit. Italien. Deutschland. Niederlande. Die Gegenwart.) — Geschichte der vervielfältigenden Künste. — Geschichte des Kunstgewerbes. — Geschichte der Musik. — Geschichte der lyrischen und epischen Poesie. (Altertum. Mittelalter u. neuere Zeit. Gegenwart.) — Geschichte des Dramas. — Geschichte des Romans. — Geschichte des Theaters und der Schauspielkunst. — Geschichte der Oper. (Auch auf diesem Gebiete sind Monographien über die hervorragendsten Erscheinungen des gesamten Künstlerlebens und der Weltliteratur in Aussicht genommen.)
